

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Talonrakennustekniikka

2013

Joonas Hinkkanen

SPU-ERISTEIDEN RAKENNETYYPPIEN TUTKIMINEN JA OHJEISTUKSEN LAATIMINEN RAKENNESUUNNITTELIJOILLE



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma | Talonrakennustekniikka

Toukokuu 2013 | 69 + 8

Vesa Virtanen (Turun AMK)

Olli Saarinen (A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Pasi Käkelä (SPU Oy)

Joonas Hinkkanen

SPU-ERISTEIDEN RAKENNETYYPPIEN TUTKIMINEN JA OHJEISTUKSEN LAATIMINEN RAKENNESUUNNITTELIJOILLE

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli laatia SPU Oy:n kehittämistä polyuretaanieristeisistä rakennetyypeistä käyttöohjeistus A-Insinöörit-konsernille. Rakennetyypit ja -detaljit valittiin A-Insinöörien toimialaan sopiviksi.

Työn alkuosassa perehdyttiin rakennusfysiikan perusteisiin ja seikkoihin, jotka vaikuttavat rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan. Rakennusfysiikkaosuudessa läpikäytiin lämpö, kosteus, ilmanpaineet ja ääni. Lisäksi samassa yhteydessä käytiin läpi palomääräyksiä ja paloon vaikuttavia asioita.

Työssä tutustuttiin myös vuonna 2012 muuttuneisiin rakennusmääräyksien energiatehokkuusvaatimuksiin ja käytiin lyhyesti läpi rakennusten kokonaisenergiatarkastelu. Samalla tutustuttiin E-luvun laskentaperusteisiin ja energiatehokkuusvaatimusmuutosten aiheuttamiin seikkoihin.

Opinnäytetyössä tehtiin A-Insinööreille sähköinen rakennetyyppiohjekansio, jota varten perehdyttiin SPU:n polyuretaanieristeiden tekniisiin ominaisuuksiin ja heidän valmiisiin rakennetyyppikuviiin. Rakennetyyppikuvia muokattiin A-Insinöörien tarpeisiin, ja niiden yhteyteen lisättiin lisätietosivuja. Lisätietosivuihin kerättiin suunnittelun kannalta tarpeelliseksi katsottua tietoa.

ASIASANAT:

polyuretaani, lämmöneriste, työohje, rakennetyyppi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineer | Structural Engineering

May 2013 | 69 + 8

Vesa Virtanen (TUAS)

Olli Saarinen (A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Pasi Käkelä (SPU Oy)

Joonas Hinkkanen

INSPECTION OF STRUCTURE TYPES PRODUCED BY SPU-ERISTEET AND CREATION OF INSTRUCTIONS FOR STRUCTURAL ENGINEERS

The main objective of this thesis was to create a set of instructions for the A-Insinöörit Group about SPU Oy's structure types insulated with polyurethane. The structure types and details were selected to match the field of business of A-Insinöörit business.

The first part of the thesis describes the basics of building physics and issues that affect the physical behavior of a structure. Heat, moisture, sound pressure and sound are covered in the construction physics section. In addition, regulations concerning fire and issues that affect fire are also covered.

The thesis takes a look at the energy efficiency requirements of the building regulations which were amended in 2012 and also at the calculation grounds of the E-index and issues caused by the changes in the energy efficiency requirements.

An electronic structure type instructions folder was created for A-Insinöörit. This required studying the technical specifications of polyurethane insulation products manufactured by SPU and their structure type drawings. The drawings were edited for the needs of A-Insinöörit. Pages containing additional information about structure planning were linked to the structure type drawings.

KEYWORDS:

polyurethane, thermal insulation, work instruction, structure type

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 RAKENNUSFYSIKAALISET OMINAISUUDET	9
2.1 Lämpö	9
2.2 Kosteus	18
2.2.1 Kosteuslähteet	19
2.2.2 Kosteuden siirtyminen rakenteeseen	26
2.2.3 Vesihöyrynläpäisevyys ja -vastus	28
2.3 Rakennuksen ilmanpaineet	29
2.4 Ääni	31
2.5 Palo	36
3 UUDISTUNEET RAKENNUSTEN ENERGIAMÄÄRÄYKSET	42
3.1 Energiatehokkuusvaatimukset	42
3.2 Kokonaisenergiatarkastelu ja E-luku	43
4 SPU-ERISTEIDEN OMINAISUUDET	46
4.1 Tuotteet	46
4.2 Tekniset ominaisuudet	47
4.3 Kiinnitys	52
5 RAKENNETYYPIT	55
5.1 Alapohjarakenteet	55
5.2 Ulkoseinärakenteet	57
5.3 Yläpohjarakenteet	60
5.4 Sähköinen rakennetyyppiohjekansio	63
6 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	65
LÄHTEET	67

LIITTEET

- Liite 1. SPU AL -eristeinen maanvarainen alapohjarakenne
Liite 2. SPU AL -eristeinen puurunkoinen ulkoseinärakenne
Liite 2. SPU AL -eristeinen betonirunkoinen yläpohjarakenne

KUVAT

Kuva 1. Esimerkki lämpövirran suuntaan nähden rinnakkaisia ainekerroksia sisältävästä rakennusosasta.	10
Kuva 2. Esimerkki ylä- ja alalikiarvon laskennassa käytettävistä lohkoista.	12
Kuva 3. Betonisandwich-elementin lämpötilan muuttuminen rakenteiden eri osissa.	17
Kuva 4. Rakennukseen vaikuttavia sisä- ja ulkopuolisia kosteusrasituksen aiheuttajia.	19
Kuva 5. Betonisandwich-elementin kosteuskäyttäytyminen.	25
Kuva 6. Ilman kosteuden siirtyminen diffuusion avulla.	26
Kuva 7. Rakenteen sisäisen konvektion aikaansaama kosteuden liikkuminen talvella ja kesällä.	27
Kuva 8. Pakotetun konvektion käyttäytyminen talvella ja kesällä.	28
Kuva 9. Rakennuksen ilmanpaine eri osatekijöiden vaikutuksesta.	29
Kuva 10. Syitä vedon tunteeseen.	31
Kuva 11. Ihmiskorvan kuuloalue eri taajuuksilla.	32
Kuva 12. Äänen siirtymistavat tilasta toiseen.	34
Kuva 13. Tulipalon eri vaiheet.	37
Kuva 14. Eri materiaalien vesihöyrynvastuksia.	50
Kuva 15. Polyuretaanieristeen kiinnitystavat matalaenergiatasoisessa puurunkoisessa seinässä.	52
Kuva 16. Maanvaraisen alapohjan lisäeristäminen.	56
Kuva 17. Rakennuksen kantavan puurungon sijainnin vaihtoehdot lämmöneristykseen nähden.	59
Kuva 18. Rakennetyyppiohjekansion kansiohierarkia.	64

TAULUKOT

Taulukko 1. Sisä- ja ulkopuolen pintavastus.	13
Taulukko 2. Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastus R_{gu} .	13
Taulukko 3. Katon ilmatilan lämmönvastus R_u .	14
Taulukko 4. Kapillaarinen kosteuden nousu eri maalajeilla.	20
Taulukko 5. Kyllästyskosteuden ja vesihöyryn paineen arvoja ilman lämpötilan suhteen.	22
Taulukko 6. Äänen nopeus eri väliaineissa.	32
Taulukko 7. Suositellut maksimijat eri melutasoilla.	33

Taulukko 8. Rakennuksen kokoa koskevat rajoitukset eri paloluokissa.	38
Taulukko 9. Rakennuksen suurinta sallittua henkilömäärää koskevat rajoitukset eri paloluokissa.	38
Taulukko 10. Palo-osastoinnin enimmäisalat.	40
Taulukko 11. Palokuorman määrittäminen eri palokuormaryhmissä.	41
Taulukko 12. Rakennusten energiatehokkuusvaatimusten kehittyminen.	42
Taulukko 13. E-luvun laskennassa käytetyt energiamuodon kertoimet.	44
Taulukko 14. Opinnäytetyön rakennetyypeissä esiintyvien eristelevyjen ominaisuudet.	46
Taulukko 15. SPU:n polyuretaanieristeiden tekniset ominaisuudet.	48

1 JOHDANTO

Viimeisen kymmenen vuoden aikana rakennusten eri rakenneosien U-arvovaatimuksia on kiristetty kymmeniä prosentteja ja samalla muita energiatehokkuusvaatimuksia on lisätty. Uusimmat energiamääräysten kiristykset ovat vuodelta 2012, jolloin siirryttiin osarakenteiden tarkastelusta kokonaisenergiatarkastelun suuntaan. Energiamääräysten kiristäminen on johtanut muun muassa kasva-neisiin eristepaksuuksiin ja ilmanvaihdon tehokkuuden kehittämiseen. Perinteis-ten lasi- ja kivivillaeristysten paksuuksien kasvattamisen vaihtoehtoina ovat eri-laiset pienemmän lämmönjohtavuuden omaavat muovipohjaiset eristeet.

Energiatehokkuusajattelun ja eurokoodien tulon myötä myös Suomen rakenta-mismääräyskokoelmien eri osia on päivitetty vastaamaan paremmin nykyajan tarpeita. Muutostyö on yhä käynnissä, ja tässä työssä käytetään rakentamis-määräyskokoelmien uusimpia, myös vasta lausuntokierroksella olevia osia siltä osin kuin sen katsotaan olevan aiheellista. Esimerkiksi rakentamismääräysko-elman osan C4 uusin, ajantasainen versio on vuodelta 2003. Ympäristöminis-teriössä on tällä hetkellä lausuntokierros vuoden 2012 C4-osasta. Suomen ra-kentamismääräyskokoelma ei voi kumota eurooppalaisia standardeja tai antaa määräyksiä, jotka ovat ristiriidassa niiden kanssa. Koska lausuntokierroksella oleva vuoden 2012 C4-osa pohjautuu EN-standardeihin, käsitellään tämän työn puitteissa myös näitä standardeja.

Tässä työssä tutkitaan SPU Oy:n (myöhemmin tekstissä SPU) kehittämiä poly-uretaanieristeisiä rakennetyyppejä ja -detaljeja sekä lisätään käyttötietoa poly-uretaanieristeistä A-Insinöörit-konsernissa (myöhemmin tekstissä A-Insinöörit). Tarkoituksena on helpottaa niiden käyttöä laatimalla ohjetiedostokansio A-Insinöörien käyttöön. Ohjetiedostoon liitetään SPU:n VTT:llä ja muilla yhteis-työtahoilla teettämiä tutkimustuloksia ja tietoja muun muassa kyseisen raken-teen lämpö- ja kosteusteknisestä toiminnasta. Samaan tiedostoon lisätään tie-toa eristeen kiinnitystavoista ja muista eristeen käyttöön liittyvistä seikoista.

Ohjekansioon otettavat rakennetyypit ja -detaljit valitaan A-Insinöörien toimialaan sopiviksi siten, että pientaloon suunnitellut rakennetyypit jätetään kokonaan opinnäytetyön ulkopuolelle. SPU on laskenut rakennetyypeille kolme U-arvotaso: vuoden 2010 vaatimustaso, matalaenergiataso ja passiivitaso. U-arvovaatimuksiltaan vuoden 2010 vaatimustaso vastaa uusimpia, vuoden 2012 lämmöneristysvaatimuksia. Ohjetiedoston kansilehtenä toimii nykymääräysten mukaisen rakenteen rakennetyyppi, ja muihin eristämistasoihin viitataan ohjeen lisälehdillä.

2 RAKENNUSFYSIKAALISET OMINAISUUDET

2.1 Lämpö

Lämmöllä tarkoitetaan lämpöenergiaa, joka on aineessa olevien atomien liikettä. Lämpötila on sitä suurempi, mitä enemmän atomit liikkuvat. (Wikikirjasto 2012.) Lämpö voi siirtyä paikasta toiseen kolmella eri tavalla: konvektion avulla, johtumalla tai säteilemällä. Konvektiossa lämpö liikkuu ja siirtyy nesteen tai kaasun virtauksen mukana. Tätä voidaan havainnollistaa vesikiertoisten lämpöpattereiden avulla. Kun lämmin vesi kiertää lämmitysjärjestelmässä, on siinä kyse konvektiosta. Johtumisessa lämpö siirtyy aineen sisällä tai se voi johtua aineesta toiseen. Aineesta toiseen johtuminen edellyttää, että aineet ovat kosketuksissa keskenään. Edellistä esimerkkiä jatkaen johtumisessa lämpöenergia siirtyy lämpimästä vedestä patterin metallikuoreen. Säteilemällä tapahtuvassa lämmön siirtymisessä lämpö siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Patteriesimerkissä tämä tarkoittaa lämpöpatterista huoneilmaan siirtyvää lämpöä. (Björkholtz 1997, 12.)

Lämmönvastus

Tämä luku käsittelee yleisesti rakenteiden eri kerrosten lämmönvastuksen laskentaa. Tässä yhteydessä ei kuitenkaan käsitellä maan lämmönvastusta.

Rakennuksissa rakenteiden ja rakenneosien lämmönsiirtymisvastustuksen suuruuden ilmaisee lämmönvastus R [$\text{m}^2\text{K/W}$]. Lämmönvastus lasketaan kaavalla

$$R = \frac{d}{\lambda_U}, \quad (1)$$

missä

d	ainekerroksen paksuus	[m]
λ_U	ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo	[W/mK].

(Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 7.)

Vuoden 2012 rakentamismääräyskokoelman osassa C4 sivulla 7 määritellään useista tasalaatuisista, peräkkäin tai rinnan olevista kerroksista koostuvan rakenteen kokonaislämmönvastuksen R_T laskettavaksi seuraavalla kaavalla:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \quad (2)$$

missä

R_{si}	sisäpuolen pintavastus	$[m^2K/W]$
R_1, R_2, \dots, R_n	rakennusosan ainekerrosten 1, 2, ..., n lämmönvastukset	$[m^2K/W]$
R_{se}	ulkopuolen pintavastus	$[m^2K/W]$

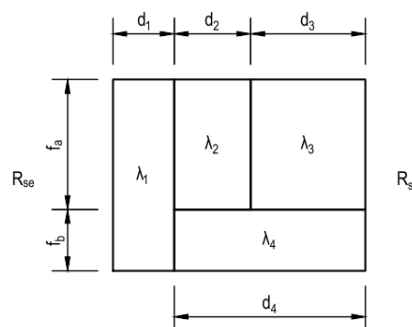
Mikäli rakenne koostuu lämpövirran suuntaan nähden lämmönjohtavuudeltaan erilaisista rinnakkaisista kerroksista (kuva 1), lasketaan rakennusosan kokonaislämmönvastukselle ylälikiarvo (R'_T) ja alaliikiarvo (R''_T). Kokonaislämmönvastus lasketaan edellä mainittujen arvojen keskiarvona kaavalla 3.

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}, \quad (3)$$

missä

R'_T	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo	$[m^2K/W]$
R''_T	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvo	$[m^2K/W]$

(Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 7.)



Kuva 1. Esimerkki lämpövirran suuntaan nähden rinnakkaisia ainekerroksia sisältävästä rakennusosasta (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 9).

Rakenteen kokonaislämmönvastuksen yläkiarvoa laskettaessa rakenne jaetaan lämpövirran suunnassa koko rakenteen läpi ulottuviin lohkoihin kuvan 2 vasemman puolen esittämällä tavalla. Lohkojen lämmönvastus lasketaan kaavalla 2, ja tämän jälkeen lohkojen kokonaislämmönvastukset sijoitetaan kaavaan 4. Kokonaislämmönvastuksen yläkiarvo R'_T lasketaan kaavalla

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}}, \quad (4)$$

missä

R'_T	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiarvo	[m ² K/W]
f_a, f_b, \dots, f_n	lohkojen a, b, ..., n osuudet rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta	-
$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tn}$	lohkojen a, b, ..., n kokonaislämmönvastukset	[m ² K/W].

(Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 8.)

Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvoa laskettaessa rakenne jaetaan lämpövirran suuntaa kohtisuoriin kerroksiin (kuva 2, oikea puoli). Kerrokset ulottuvat koko rakenteen läpi siten, että jokaisen kerroksen lämmönjohdavuus on yhtenäinen lämpövirran suunnassa. Rinnakkaisten lohkojen lämmönvastukset yhdistetään kerros kerrallaan kaavalla

$$\frac{1}{R''_j} = \frac{f_a}{R_{ja}} + \frac{f_b}{R_{jb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{jn}}, \quad (5)$$

missä

R''_j	rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ..., n yhteenlaskettu lämmönvastus	[m ² K/W]
f_a, f_b, \dots, f_n	yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ..., n osuudet rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta	-
$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tn}$	rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ..., n lämmönvastukset	[m ² K/W].

Osuudet f_a, f_b, \dots, f_n ovat yhtä suuret kaavoissa 4 ja 5. (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 8.)

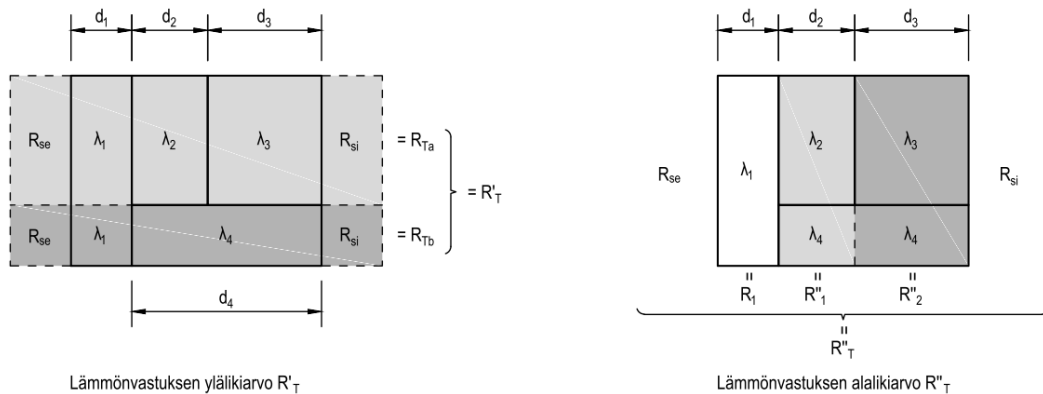
Kun lämmönjohtavuudeltaan erilaisten rinnakkaisten lohkojen lämmönvastukset on yhdistetty, voidaan rakennneosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo laskea seuraavalla kaavalla:

$$R''_T = R_{si} + (R''_1 + R''_2 + \dots + R''_j) + (R_1 + R_2 + \dots + R_k) + R_{se}, \quad (6)$$

missä

R''_T	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo	[m ² K/W]
R_{si}	sisäpuolen pintavastus	[m ² K/W]
R_{se}	ulkopuolen pintavastus	[m ² K/W]
$R''_1, R''_2, \dots, R''_j$	rakennusosan kerroksissa a, b, ..., j olevien rinnakkaisten lohkojen yhdistetyt lämmönvastukset (esimerkiksi lämmönvastukset R''_1 ja R''_2 kuvassa 2)	[m ² K/W]
R_1, R_2, \dots, R_k	rakenneosan tasa-ainesista ja tasapaksuisista ainekerroksista muodostuvien kerrosten 1, 2, ..., k lämmönvastukset (esimerkiksi lämmönvastus R_1 kuvassa 2)	[m ² K/W].

(Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 8.)



Kuva 2. Esimerkki ylä- ja alalikiarvon laskennassa käytettävistä lohkoista (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 9).

Mitä suurempi rakenteen kokonaislämmönvastus on, sitä paremmin se vastustaa lämmön siirtymistä rakenteen läpi. Tämä tarkoittaa suoraan parempaa eristyskykyä. Alla olevissa taulukoissa 1–3 esitetään Suomen rakentamismääräyskokoelman C4-osasta poimitut arvot sisä- ja ulkopuolen pintavastuksille, tuuletumattomalle ilmakerrokselle ja katon ilmatilan lämmönvastuksille.

Taulukko 1. Sisä- ja ulkopuolen pintavastus (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 22).

Pintavastus [$\text{m}^2\text{K/W}$]	Lämpövirran suunta		
	vaakasuora	ylöspäin	alaspäin
Sisäpuolen pintavastus R_{si}	0,13	0,10	0,17
Ulkopuolen pintavastus R_{se}	0,04	0,04	0,04

Taulukko 2. Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastus R_{gu} (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 23).

Rajoittavien pintojen yhdistetty emissiviteetti	Ilmaraon paksuus d_g [mm]	Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastus R_g [$\text{m}^2\text{K/W}$]		
		Lämpövirran suunta		
		vaakasuora	ylöspäin	alaspäin
yleinen tapaus: ei heijastavia pintoja $\epsilon > 0,8$	5	0,11	0,11	0,11
	10	0,15	0,15	0,15
	15	0,16	0,17	0,17
	20	0,16	0,18	0,18
	50	0,16	0,18	0,21
	100	0,16	0,18	0,22
	300	0,18	0,16	0,23
toinen pinta heijastava $\epsilon < 0,2$	5	0,17	0,17	0,17
	10	0,29	0,29	0,29
	15	0,34	0,38	0,38
	20	0,34	0,44	0,44
	50	0,34	0,44	0,67
	100	0,34	0,44	0,75
	300	0,34	0,44	0,83

Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti.

Mikäli pintojen emissiviteetit tiedetään, voidaan tuulettumattoman ilmaraon lämmönvastus laskea SFS-EN ISO 6946 -standardin liitteen B kaavalla B.1.

Rakenteen lievästi tuuletetun ilmakerroksen lämmönvastus (R_{gs}) lasketaan kaavalla

$$R_{gs} = \left(\frac{1500 - A_v}{1000} \right) R_{gu} + \left(\frac{A_v - 500}{1000} \right) R_{si} , \quad (7)$$

missä

A_v ilmakerrokseen johtavien aukkojen yhteenlaskettu pinta-ala [mm²]
 R_{gu} tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastus, taulukko 2 [m²K/W]
 R_{si} hyvin tuulettuvan ilmakerroksen lämmönvastus, taulukko 1 [m²K/W].
 (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 23.)

Tuulettumattoman ja lievästi tuuletetun ilmaraon lisäksi rakenteessa voi olla hyvin tuulettuva ilmarako. Mikäli rakennusosassa on hyvin tuulettuva ilmaväli, ei ilmakerroksen ja sen ulkopuolella olevien ainekerrosten lämmönvastuksia lasketa mukaan U-arvoon. Tässä yhteydessä voidaan ulkopinnan pintavastuksena käyttää sisäpinnan pintavastusta (R_{si}) taulukosta 1. (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 24.)

Taulukko 3. Katon ilmatilan lämmönvastus R_u (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012, 24).

Katon rakennetyyppi	Lämmönvastus R_u [m ² K/W]
kate ilman aluskatetta	0,06
tiilikatto, peltikatto tai muu vastaava vesikate aluskatteella tai sitä vastaavalla ainekerroksella	0,2
kuten edellinen kohta, mutta matalaemissiviteetipinta (esimerkiksi alumiinipinnoite) aluskatteen alapinnassa	0,3
yhtenäinen kermikate alusrakenteineen tai vastaava raoton vesikate	0,3

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C4 määrätään edellä esitettyihin taulukoihin 1–3 lisäehtoja ja määritteitä, joita ei tässä yhteydessä luetella.

U-arvo

Rakennusten ulkokuoren eli vaipan lämmönläpäisykykyä määriteltäessä käytetään lämmönläpäisykerrointa U [W/m²K]. U-arvo on lämmönvastuksen käänteisluku, ja se saadaan määritettyä kaavalla

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad (8)$$

missä

R_T rakenteen kokonaislämmönvastus $[m^2K/W]$.

(Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 6).

U-arvo määrittää rakennuksen vaipan osien energiatehokkuuden. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet määritetään kaikille rakenneosille U-arvovaatimus, jonka rakenteen on täytettävä. Vuonna 2012 päivitettyissä määräyksissä rakennusten energiatarkastelussa siirryttiin energiatarkastelussa kokonaistarkasteluun yksittäisten rakenneosien sijaan. Tämän ansiosta jonkin rakenneosan ei tarvitse täyttää sille asetettua U-arvovaatimusta, kunhan rakennukselle asetettu kokonaisenergiatehokkuus täyttyy. Vuoden 2012 U-arvovaatimukset ja kokonaisenergiatehokkuusmääräyksistä kerrotaan luvussa 3.

Vuoden 2012 C4:n luonnosversiossa rakennusosakohtaista U-arvoa korjataan korjauskertoimella $\Delta U [W/m^2K]$. Korjauskerroin lisätään rakennusosalle laskettuun U-arvoon, jonka johdosta saadaan korjattu U-arvo, $U_c [W/m^2K]$. Korjaus-termi huomioi mekaanisista kiinnikkeistä, ilmaraoista, käännetystä katosta ja viivamaisista kylmäsilloista aiheutuvan lämmönläpäisyn muutoksen. Mikäli laskettu lämmönläpäisyn korjaus-termi ΔU on alle 3 prosenttia rakennusosan lämmönläpäisykertoimen arvosta, ei korjaus-termiä tarvitse lisätä rakenteen U-arvoon. (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a, 10.)

Rakenteen U-arvoon vaikuttaa myös rakenteessa esiintyvät kylmäsililat. Kylmäsililla tarkoitetaan eristetyn rakenteen sellaista kohtaa, jonka lämmönjohtavuus on ympäröivää rakennetta huomattavasti suurempi (Siikanen 1996, 38). Kylmäsiltoja ovat esimerkiksi betonisandwich-elementissä eristeen läpi menevät, kuoret yhdessä pitävät ansaat sekä erilaiset metalliorsirakenteet, joissa metalliorret menevät villan lävitse. Kylmäsililat saattavat aiheuttaa lisääntyneen energiankulutuksen lisäksi muita rakennusfysikaalisia ongelmia. Rakenteen läpi liikkuva kosteus saattaa tiivistyä kylmäsiltoihin. Mikäli kosteutta tiivistyy runsaasti,

saattaa se pisaroitua ja alkaa kostuttaa rakennetta. Pitkään jatkuessaan rakenteisiin tiivistynyt kosteus voi edesauttaa mikrobikasvuston syntymistä ja leviämistä.

Rakenteen lämpötila

Laskettaessa rakenteen mahdollista kosteuden tiivistymiskohtaa tulee tuntee rakenteen eri osien kosteudenläpäisyominaisuudet ja rakenteen lämpötilakäyttäytyminen. Rakenteen eri osien lämpötilat ovat suorassa suhteessa kerrosten lämmönvastuksiin. (Siikanen 1996, 43.) Homogeenisessä aineessa rakenteen läpi kulkeva lämpötila muuttuu suoraviivaisesti. Useasta kerroksesta koostuvassa rakenteessa lämpötilan muutos ei mene suoraviivaisesti koko rakenteen matkalla, vaan eri aineiden rajapinnoissa tapahtuu lämpötilan muuttumista. Tämä johtuu aineiden pintavastuksista. Rakenteessa olevan rakennekerroksen lämpötila saadaan laskettua kaavalla

$$t_x = t_s - \frac{\sum R_x}{R_T} * \Delta t, \quad (9)$$

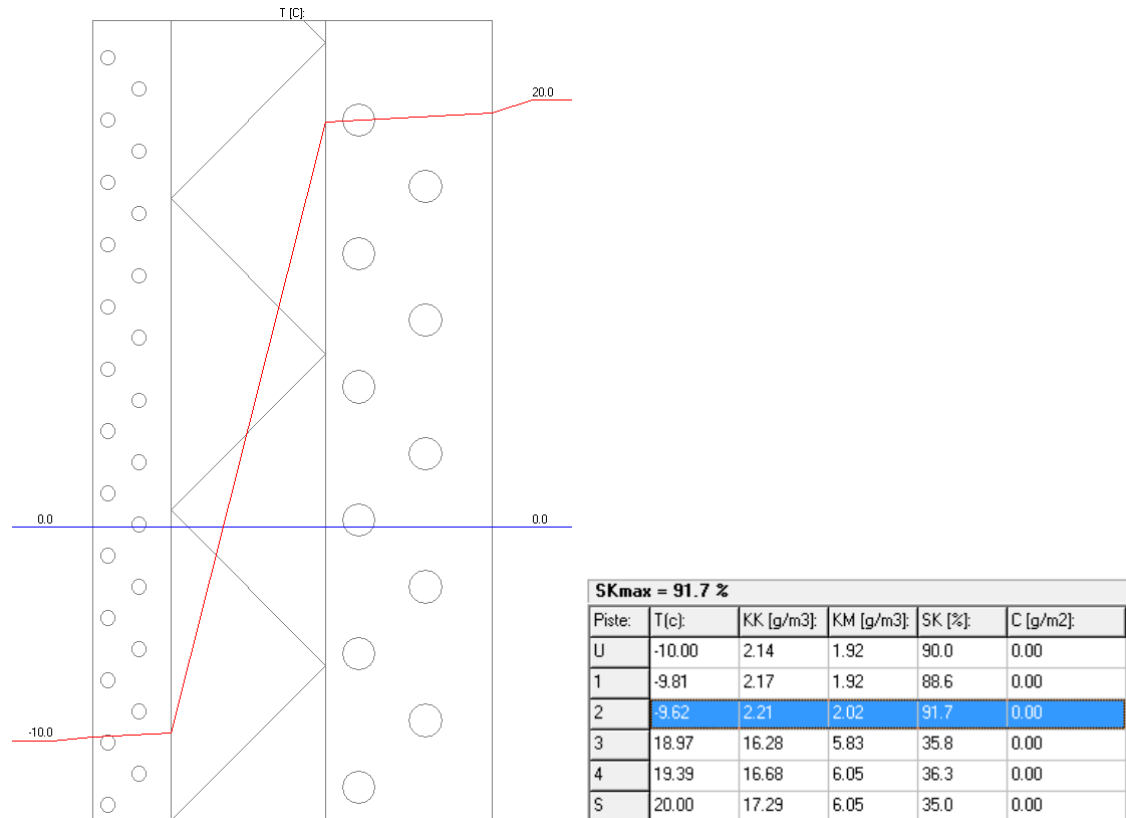
missä

t_s	sisäilman lämpötila	[°C]
$\sum R_x$	lämmönvastus sisäpinnasta kohtaan x	[m ² K/W]
R_T	rakenteen kokonaislämmönvastus	[m ² K/W]
Δt	sisä- ja ulkolämpötilan erotus	[°C].

(Rafnet 2004, 28.)

Kuvassa 3 on D.O.F. tech Oy:n DOFLÄMPÖ-ohjelmalla laskettu yksinkertaisen betonisandwich-elementin lämpötilakäyttäytyminen rakenteen eri kerroksissa. Kuvan rakenne ulkoa sisälle:

- 70 mm:n betonikuori, lämmönjohtavuus: 1,700 W/mK
- 140 mm:n polyuretaanieriste, lämmönjohtavuus: 0,023 W/mK
- 150 mm:n kantava betoniseinä, lämmönjohtavuus: 1,700 W/mK.



Kuva 3. Betonisandwich-elementin lämpötilan muuttuminen rakenteiden eri osissa.

Kuvan taulukosta voidaan lukea rakenteen lämpötilat rakennekerrosten rajapinnoissa. Taulukon tarkastelupisteistä U ja S ovat ulko- ja sisälämpötiloja, ja pisteet 1 sekä 4 ovat ulko- ja sisäpintojen pintalämpötiloja. Tarkastelupisteet 2 ja 3 ovat rakenneosien rajapintojen lämpötiloja. Kuvan laskenta-asetuksissa ulkoilman suhteellinen kosteus on 90 % ja sisäilman 35 %.

Edellistä kaavaa muokkaamalla saadaan selville rakenteen sisäpinnan pintalämpötila t_i [°C]. Silloin kaava muuttuu muotoon

$$t_i = t_s - \frac{R_{si}}{R_T} * \Delta t, \quad (10)$$

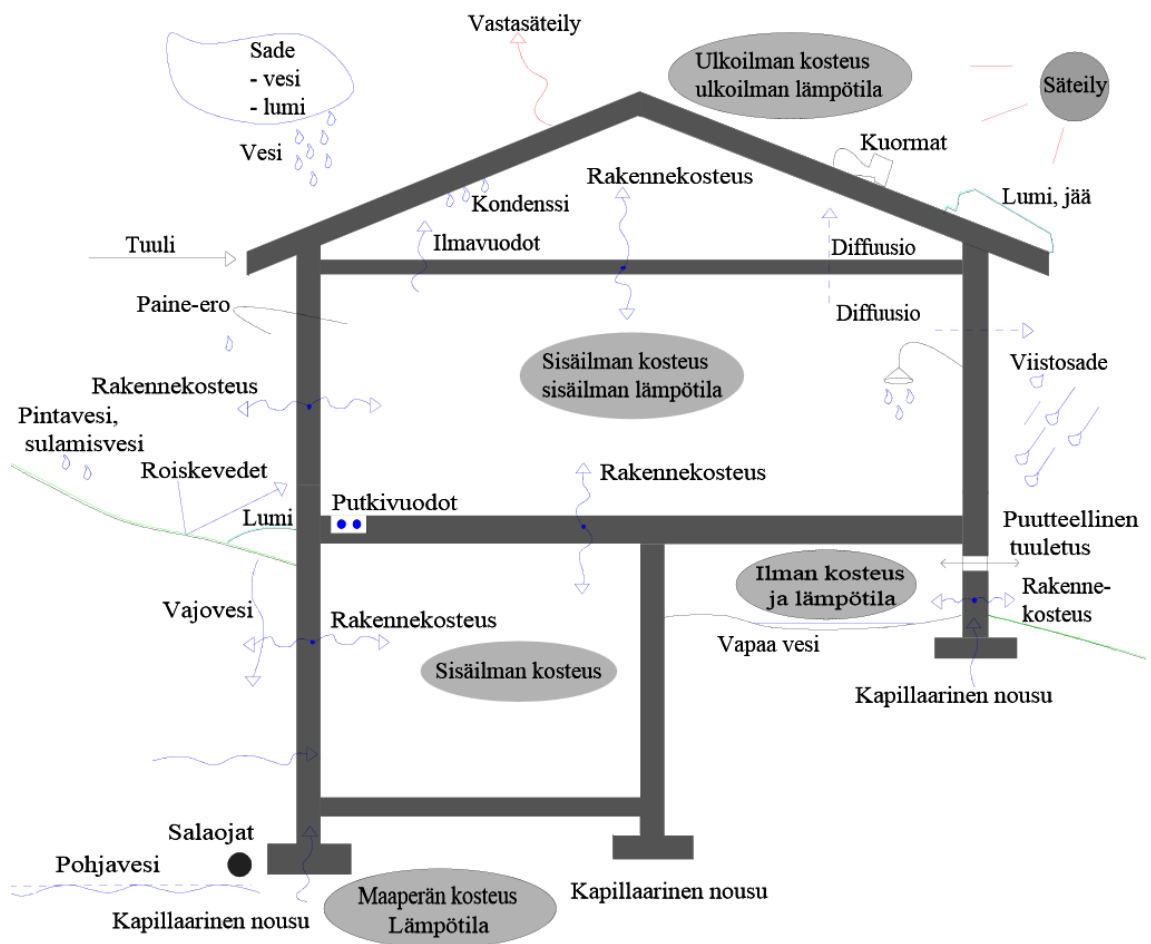
missä

t_s	sisäilman lämpötila	[°C]
R_{si}	sisäpinnan pintavastus	[m ² K/W]

R_T	rakenteen kokonaislämmönvastus	$[m^2K/W]$
Δt	sisä- ja ulkolämpötilan erotus	$[^{\circ}C]$.

2.2 Kosteus

Kosteutta esiintyy monessa muodossa. Luonnossa vallitsee kosteuden suhteen kiertokulku, jossa aurinko saa kosteuden haihtumaan vesistöistä. Tällöin kosteus on ilmassa vesihöyrynä. Kun kosteus- ja sääolot ovat sopivat, tiivistyy vesihöyry pisaroiksi ja sataa maahan. Maahan satanut vesi imeytyy maaperään tai valuu pintavedenä ojiin. Kiertokulku alkaa alusta veden päätyessä vesistöihin. Rakennuksissa ja rakenteissa kosteutta voi esiintyä edellä mainittujen lisäksi muun muassa rakennekosteutena, sisäpuolisena vedenpaineena ja maasta kapillaarisesti nousevana kosteutena. Kuten lämpöolojen kohdalla, myös kosteustilat pyrkivät tasapainoon. Rakennukset siis altistuvat monenlaiselle kosteusrasitukselle. Osa rakennukseen kohdistuvasta kosteusrasituksesta tulee rakennuksen ulko- ja osa sisäpuolelta. Ulkopuolisia kosteuslähteitä ovat esimerkiksi sade ja rakennusta kohti valuvat pintavedet, kun taas esimerkiksi tuoreesta betonista haihtuva kosteus on rakennuksen sisäpuolelta tulevaa kosteutta. Kuvassa 4 näytetään rakennukseen vaikuttavia sisä- ja ulkopuolisia kosteuslähteitä.



Kuva 4. Rakennukseen vaikuttavia sisä- ja ulkopuolisia kosteusrasituksen aiheuttajia (Leivo 1998, 21).

2.2.1 Kosteuslähteet

Sade

Ulkopuolisista kosteusrasitusten aiheuttajista yleisimpänä voidaan pitää sateiden mukana tulevaa kosteutta, joka rasittaa rakennuksen julkisivun lisäksi vajovetenä alapohjarakenteita. Sade esiintyy kolmessa olomuodossa: vetenä, räntänä ja lumena. Satava vesi voi tulla joko pystysateena tai kovan tuulen aiheuttamana viistosateena. Viistosadetta esiintyy etenkin rannikkoseudulla, ja se on eräs merkittävimmistä kosteusrasituksen aiheuttajista. Kovan tuulen vaikutus-

sesta satava vesi tai lumi voi jopa nousta ylöspäin seinän ulkopintaa pitkin. (Siikanen 1996, 52.)

Satavasta vedestä osa imeytyy suoraan maahan ja osa valuu pintavetenä ojiin tai sadevesikaivoihin. Imeytyvän ja pintaa pitkin valuvan veden suhde määräytyy maanpinnan tiiviyydestä ja maarakeiden veden kyllästysasteesta. Kohdassa, jossa vesi pääsee imeytymään maaperään, maan rakeisuudella on suuri vaikutus veden imeytymisnopeuteen.

Maaperän kosteus

Vajoveden lisäksi maaperässä kosteus esiintyy mm. pohja- ja orsivetenä, kapillaarivetenä sekä maarakeiden välissä olevana vesihöyrynä (Björkholtz 1997, 49). Maalajin rakeisuudesta riippuen kosteus pääsee liikkumaan maassa melko vapaasti. Pohjavesi täyttää maaperän huokokset ja virtaa kohti vesistöjä. Pohjaveden pinnankorkeus vaihtelee alueellisesti mm. maaperästä ja sademääristä johtuen. Paikallisesti pohjaveden korkeuteen voidaan vaikuttaa muun muassa salaojilla. (Siikanen 1996, 52.)

Maassa oleva kosteus pääsee nousemaan maarakeiden välissä olevaa huokostilaa pitkin kapillaarisesti. Kapillaariseen kosteuden nousuun vaikuttaa maalajin raekoko. Maan rakeisuuden ollessa suuri kapillaarinen voima ei jaksaa nostaa vettä korkealle. Raekoon pienentyessä kapillaarinen kosteuden nousu kasvaa huomattavasti. Taulukossa 4 esitetään kapillaarinen kosteuden nousu eri maalajeille.

Taulukko 4. Kapillaarinen kosteuden nousu eri maalajeilla (Huttula 2013, 5).

Maalaji	Raekoko [mm]	Kapillaarinen nousu [cm]
Karkea sora	20,0 ... 6,0	0,3 ... 1,0
Hieno sora	6,0 ... 2,0	1,0 ... 3,0
Karkea hiekka	2,0 ... 0,6	3,0 ... 10
Hieno hiekka	0,6 ... 0,2	10 ... 30
Karkea hieta	0,2 ... 0,06	30 ... 100

(jatkuu)

Taulukko 4 (jatkuu).

Maalaji	Raekoko [mm]	Kapillaarinen nousu [cm]
Hieno hietä	0,06 ... 0,02	100 ... 300
Karkea hiesu	0,02 ... 0,006	300 ... 1000
Hieno hiesu	0,006 ... 0,002	1000 ... 3000
Savi	0,002 ... 0,0002	3000 ... 30000
Savi	< 0,0002	>30000

Taulukosta voidaan havaita, miten karkeilla maalajeilla, kuten soralla ja hiekalla, kosteuden nousu on vain joitain senttimetrejä, kun taas hienoilla maalajeilla, kuten savella, kosteuden nousu voi olla useita kymmeniä metrejä. Tämän takia rakennusten perustuksiin tulee laittaa riittävän karkeaa soraa tai hiekkaa. Näin kapillaarinen kosteuden nousu voidaan katkaista perustamistason alapuolelle.

Perustusten kuivana pysymiseen vaikutetaan myös salaojilla. Rakennuksen ympärille asennettavat salaojat keräävät maaperään vajovetenä tulevaa vettä ja siirtävät sen hallitusti pois perustamistasosta. Kun salaojat sijoitetaan perustamistason alapuolelle, ne myös alentavat paikallisesti pohjaveden pintaa, jolloin perustukset pysyvät kuivina.

Ilmankosteus

Ilmaan sitoutunutta vesihöyryä kutsutaan ilmankosteudeksi. Ilmalla on kyky sitoa kosteutta suhteessa lämpötilaan, eli sitä enemmän siihen mahtuu vesihöyryä, mitä lämpimämpää se on. Koska vesihöyryä on kosteassa ilmassa samaan tilavuuteen sitoutuneena enemmän kuin kuivassa ilmassa, vesihöyryn osapaine on korkeampi. Tämän takia kostea ilma pyrkii tasaantumaan kuivan ilman suuntaan, jolloin tapahtuu konvektiota. Ilmiö on samanlainen kuin luvun 2.1 Lämpö lämpöpatteriesimerkissä. Ilmaan mahtuu tietty lämpötilan suhteessa oleva maksimimäärä vesihöyryä. Kun tämä määrä saavutetaan, puhutaan ilman kyllästyskosteudesta (tai kyllästysvesihöyrynpitoisuudesta tai kriittisestä vesi-

höyrynpitoisuudesta). Kyllästyskosteus, v_k [g/m³], saadaan laskettua kaavalla 11, kun lämpötila on alueella -20 °C ... +80 °C.

$$v_k = \left[4,85 + 3,47 \frac{t}{10} + 0,945 \left(\frac{t}{10} \right)^2 + 0,158 \left(\frac{t}{10} \right)^3 + 0,0281 \left(\frac{t}{10} \right)^4 \right], \quad (11)$$

missä

t lämpötila -20 °C ... +80 °C [°C]

Kun ilman kyllästyskosteus tiedetään, saadaan laskettua vesihöyryn paine, p_v [Pa]. Vesihöyryn paine lasketaan kaavalla

$$p_v = v_k * 461,4 * T * 10^{-3}, \quad (12)$$

missä

v_k kyllästyskosteus [g/m³]
 T tarkasteluhetken lämpötila [K].

(Björkholtz 1997, 43.)

Taulukko 5. Kyllästyskosteuden ja vesihöyryn paineen arvoja ilman lämpötilan suhteen.

t [°C]	v_k [g/m ³]	p_k [Pa]	t [°C]	v_k [g/m ³]	p_k [Pa]	t [°C]	v_k [g/m ³]	p_k [Pa]
-20	0,88	102	-8	2,61	319	4	6,40	818
-19	0,95	111	-7	2,84	348	5	6,84	878
-18	1,04	122	-6	3,08	379	6	7,31	941
-17	1,14	135	-5	3,33	412	7	7,80	1008
-16	1,25	149	-4	3,60	447	8	8,32	1079
-15	1,38	164	-3	3,89	485	9	8,87	1154
-14	1,52	181	-2	4,19	524	10	9,45	1234
-13	1,67	200	-1	4,51	566	11	10,06	1318
-12	1,83	221	0	4,85	611	12	10,71	1408
-11	2,01	243	1	5,21	658	13	11,39	1502
-10	2,20	266	2	5,58	708	14	12,10	1603
-9	2,40	292	3	5,98	762	15	12,86	1708

(jatkuu)

Taulukko 5 (jatkuu).

t [°C]	v _k [g/m ³]	p _k [Pa]	t [°C]	v _k [g/m ³]	p _k [Pa]	t [°C]	v _k [g/m ³]	p _k [Pa]
16	13,65	1820	30	30,31	4237	60	130,24	20010
17	14,49	1939	35	39,56	5622	65	160,88	25090
18	15,37	2064	40	51,16	7388	70	197,11	31194
19	16,30	2197	45	65,52	9614	75	239,60	38472
20	17,28	2337	50	83,14	12390	80	289,08	47084
25	23,00	3162	55	104,52	15818			

Paine- ja kosteuserojen pyrkivät tasaantumaan rakenteen läpi. Tämän takia ilma ja siihen sitoutunut kosteus yrittävät liikkua rakenteen puolelta toiselle. Tilanteessa, jossa sisälämpötila on suurempi kuin ulkolämpötila ja ulkoilman absoluuttinen kosteus määrä on pienempi kuin sisäilman, tasaantuu paine- ja kosteusero sisältä ulospäin. Rakenteet tulisikin suunnitella siten, että kosteutta paremmin läpäisevät materiaalit ovat rakenteen ulkopinnassa. Näin rakenne pääsee kuivumaan ulkopintaa kohti. Nykyisissä, mahdollisimman tiiviissä ja energiaa säästävissä rakenteissa pyritään hallitsemaan ilman siirtyminen rakenteisiin estää rakenteen sisäpintaan asennettavalla höyrynsululla. Höyrynsulku on yleensä ohut muovikalvo, jonka vesihöyrynvastus on suuri. Tämä estää sisällä olevaa ilman kosteutta siirtymästä liiaksi rakenteisiin. Kesäisin, jolloin ulkoilma on lämmintä ja siihen on sitoutunut paljon kosteutta, voi höyrynsulusta olla jopa haittaa rakenteelle. Mikäli sisäilmaa jäähdytetään reilusti ulkoilmaa viileämmäksi, pyrkii lämmin ja kostea ilma ulkoa sisälle. Rakenteen sisäpinnassa oleva höyrynsulkumuovi kuitenkin estää kosteuden siirtymisen sisäilmaan. Höyrynsulun ollessa viileämpi kuin rakenteessa olevan kosteuden kyllästysarvon kondensoituu höyrynsulun ulkopintaan kosteutta. Kun kosteus tiivistyy höyrynsulkuun pisaroiksi, kastelee se lämpöeristettä ja voi aiheuttaa mikrobikasvuston kasvua. Edellä esitetyn lisäksi ilmassa olevan kosteuden siirtymiseen rakenteissa vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän toteutus ja säätö.

Kosteutta mitattaessa puhutaan usein suhteellisesta kosteudesta. Tämä kertoo, kuinka paljon mitattavassa kohteessa on kosteutta suhteessa kyllästysarvoon.

Suhteellista kosteutta ilmaistaan lyhenteellä RH (Relative Humidity), ja se ilmoitetaan usein prosentteina. RH voidaan laskea kaavoilla

$$RH = \frac{v}{v_k}, \quad (13)$$

missä

v	mitattu kosteusarvo	$[g/m^3]$
v_k	kyllästyskosteus	$[g/m^3]$

tai

$$RH = \frac{p}{p_k}, \quad (14)$$

missä

p	mitattu paine	$[Pa]$
p_k	kyllästyspaine	$[Pa]$.

(Björkholtz 1997, 44–45.)

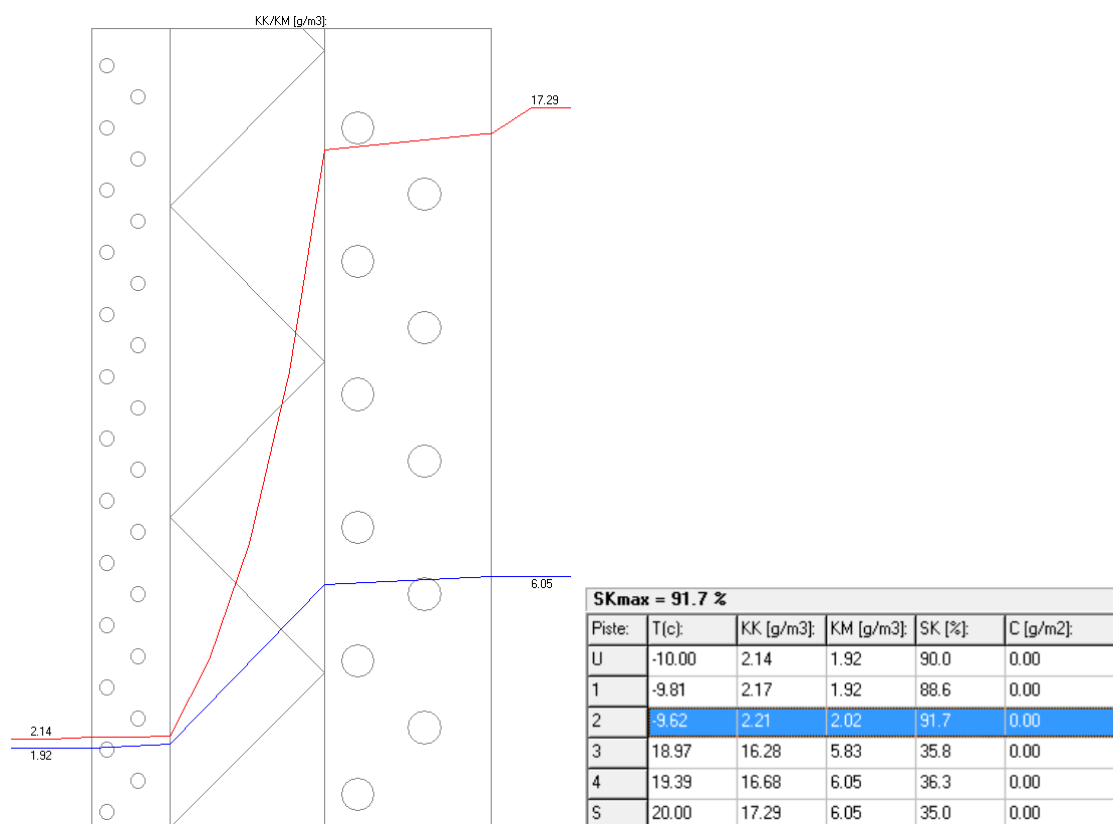
Rakennekosteus

Rakennekosteudella tarkoitetaan kosteutta, joka on sitoutuneena rakennemateriaaliin ennen kuin se kuivuttuaan saavuttaa ympäristön kanssa kosteustasapainon. Rakennekosteus voi esiintyä materiaalissa kiinteästi tai löyhästi. Kiinteällä vedellä tarkoitetaan materiaalin kiderakenteeseen sitoutunutta vettä, kuten esimerkiksi kipsissä olevaa kidevettä. Tämä vesi ei poistu rakenteesta muuten kuin kuumentamalla sitä yli 100 °C:een, jolloin kidevesi kiehuu pois. Toisaalta vesi voi olla rakenteessa löyhästi, jolloin se pääsee haihtumaan vapaasti ja rakenne kuivuu. (Björkholtz 1997, 51–52.)

Rakennekosteuden suuruuteen vaikuttaa suuresti rakennusaineen huokoisuus ja valmistusprosessi, säilytysolosuhteet sekä materiaalin suojaaminen. Esimerkiksi poltetu tiili on valmistuttuaan lähes kuiva toisin kuin betoni, jossa on paljon

vettä tuotantoprosessista johtuen. Vallitsevista olosuhteista riippuen materiaali voi joko imeä tai luovuttaa kosteutta varastoinnin aikana. Mikäli rakennusaine on valmistuttuaan kuiva ja sen huokosrakenne on helposti kosteutta imevää, kasvaa materiaalin rakennekosteus lähelle ympäristön kosteutta. Kosteat materiaalit vastaavasti pyrkivät saavuttamaan kosteustasapainon ympäristön kanssa kuivumalla. Tasapainokosteus on riippuvainen ympäristön suhteellisesta kosteudesta, RH:sta. (Björkholtz 1997, 51.)

Kuvassa 5 on betonisandwich-elementin kosteuskäyttäytymiskäyrät. Betonielementti on sama kuin kuvassa 3. Punainen murtoviiva kertoo lämpötilasta riippuvan kyllästyskosteuden arvon rakenteessa. Kyllästyskosteus ilmoitetaan grammoina kuutiometriä kohden. Sininen viiva kertoo absoluuttisen kosteusmäärän rakenteessa. Mikäli rakenteessa olisi kohtia, joissa sininen kosteuskäyrä ylittäisi punaisen kyllästyskosteuden käyrän, saavuttaisi rakenne niissä kohdissa 100 %:n suhteellisen kosteuden. Näissä kohdissa kosteus pyrkisi tiivistymään pisaroiksi.

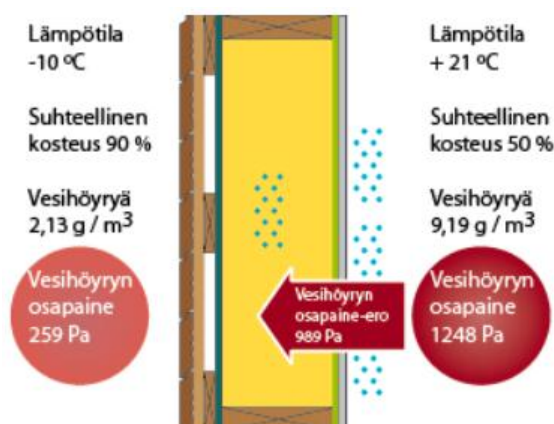


Kuva 5. Betonisandwich-elementin kosteuskäyttäytyminen.

Rakenne voi kostua myös kapillaarisen kosteuden nousun kautta. Esimerkiksi betoni huokoisena materiaalina pystyy nostamaan kosteutta kapillaarisesti. Mikäli betoniperustuksia tai maanvaraista alapohjaa ei ole suojattu kosteudelta riittävästi, saattaa kosteus nousta kapillaarisesti betonin yläpuolisiin rakenteisiin ja aiheuttaa kosteusongelmia. Maaperästä kapillaarisesti nousevan kosteuden aiheuttamat ongelmat voidaan välttää estämällä pysyvän kosteuden pääsy betonirakenteisiin. Perustus- ja alapohjarakenteet pystytään pitämään riittävän kuivina salaojilla ja perustusten ympärille sekä alapohjan alle tulevalle kapillaarikatkosoralla. Lisäksi sokkelia ja kellarin seinärakenteita voidaan suojata ulkopintaan asennettavalla bitumikermillä tai patolevyllä.

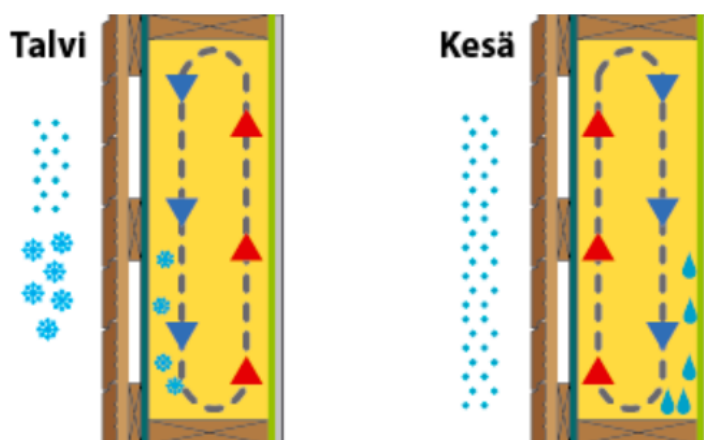
2.2.2 Kosteuden siirtyminen rakenteeseen

Kosteus voi siirtyä rakenteeseen diffuusion tai konvektion avulla. Rakennustekniikassa diffuusiolla tarkoitetaan yleensä rakenteen eri puolilla olevan kosteustasapainoeron pyrkimystä tasoittua rakenteen läpi. Tällöin kosteus liikkuu rakenteen läpi tilasta, jossa on suurempi ilman vesihöyryn osapaine, kohti pienempää pitoisuutta. On myös tavallista, että diffuusion suunta on lämpimästä ilmasta kylmempään, sillä useimmiten absoluuttinen kosteus ja sitä kautta vesihöyryn osapaine on suurempi lämpimässä ilmassa. (Siikanen 1996, 56.) Kuten kuvasta 6 voidaan havaita, ilman suhteellisella kosteudella ei ole merkitystä diffuusion kannalta.



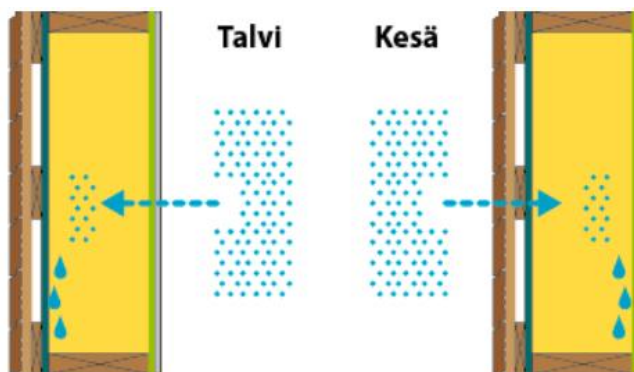
Kuva 6. Ilman kosteuden siirtyminen diffuusion avulla (Tiivistalo 2013a).

Konvektiossa kosteus siirtyy paine- ja kosteuserojen aiheuttaman ilmavirran mukana. Konvektio voi esiintyä niin sanottuna luonnollisena eli sisäisenä tai pakotettuna eli ulkoisena konvektiona. Sisäisessä konvektiossa kosteus pääsee vapaasti liikkumaan rakenteessa kylmän ja lämpimän ilman aiheuttamien paine-erojen pyrkiessä tasaantumaan. (Siikanen 1996, 56; Tiivistalo 2013b.) Kuvassa 7 havainnollistetaan sisäisen konvektion aikaansaamaa ilman liikkumista kesällä ja talvella. Kuvissa 7 ja 8 olevissa rakenteissa kosteus tiivistyy eristemateriaalia tiiviimmän, lämpötilaltaan kyllästyskosteuden lämpötilaa viileämmän materiaalin pintaan.



Kuva 7. Rakenteen sisäisen konvektion aikaansaama kosteuden liikkuminen talvella ja kesällä (Tiivistalo 2013b).

Pakotetussa konvektiossa ilma siirtyy rakenteeseen eri puolilla vaikuttavien paine-erojen vaikutuksesta. Tällöin kosteus siirtyy rakenteeseen sen vuotokohtien kautta. (Tiivistalo 2013b.) Kuvassa 8 havainnollistetaan kosteuden siirtymistä rakenteeseen vuotokohtien kautta ulkoisen eli pakotetun konvektion avulla.



Kuva 8. Pakotetun konvektion käyttäytyminen talvella ja kesällä (Tiivistalo 2013b).

2.2.3 Vesihöyrynläpäisevyys ja -vastus

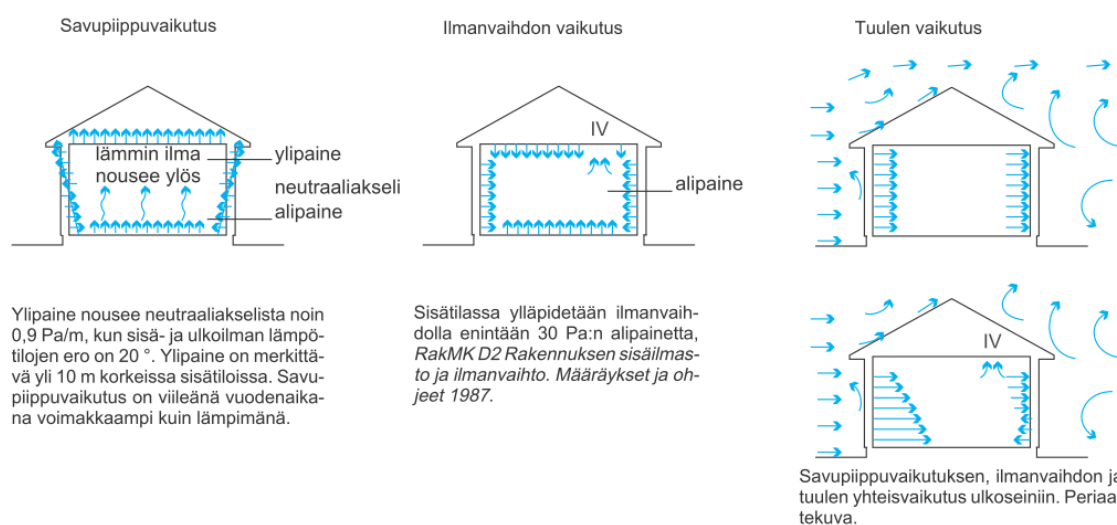
Vesihöyrynläpäisevyydellä, δ_v , vesihöyrypitoisuuseron avulla laskettuna [m^2/s], tai δ_p , vesihöyryn osapaine-erolla laskettuna [kg/msPa], kuvataan aineen ominaiskykyä vastustaa vesihöyryn kulkua lävitseen (Vinha ym. 2005, 9). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mitä suurempi lukuarvo, sitä enemmän rakenne päästää kosteutta lävitseen. Vinha ym. (2005, 13) määrittelee vesihöyrynläpäisevyyden seuraavasti:

"Vesihöyrynläpäisevyys δ_v tai δ_p ilmoittaa vesimäärän, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun rakenneosan eri puolilla olevien tilojen vesihöyrypitoisuuksien ero (tai vesihöyryn osapaine-ero) on yksikön suuruinen. Kosteus voi siirtyä materiaalissa muissakin olomuodoissa kuin vesihöyrynä, jolloin voidaan puhua myös materiaalin kosteudenläpäisevyydestä."

Vesihöyrynvastus on vesihöyrynläpäisevyyden käänteisarvo ja se kertoo, kuinka hyvin materiaali vastustaa vesihöyryn kulkeutumista rakenteen läpi. Vesihöyrynvastuksen tunnus on Z_p [$\text{m}^2\text{sPa}/\text{kg}$] tai Z_v [s/m]. Edellä mainittu lasketaan vesihöyryn osapaine-eron avulla ja jäljempänä mainittu vesihöyrypitoisuuseron avulla. (Vinha ym. 2005, 9.)

2.3 Rakennuksen ilmanpaineet

Edellisissä luvuissa käsiteltyjen lämmön ja kosteuden lisäksi rakennusten rakennustekniseen toimintaan vaikuttaa suuresti myös rakennuksen ilmanpaineet ja niiden vaihtelut. Rakennuksen ilmanpaineisiin ja niiden vaihteluihin vaikuttaa moni asia. Merkittävimpiä ilmanpaineisiin vaikuttavia asioita ovat ilmanvaihtolaitteet, savupiippuilmio ja tuulen vaikutus. (Siikanen 1996, 56.) Kuvassa 9 esitetään rakennuksen ilmanpaineeseen vaikuttavia tekijöitä ja niiden yhteisvaikutus.



Kuva 9. Rakennuksen ilmanpaine eri osatekijöiden vaikutuksesta (RT 05-10710, 3).

Savupiippuvaikutuksella tarkoitetaan lämpiävän huoneilman kohoamista rakennuksessa ylöspäin. Tästä johtuen huoneen yläosaan muodostuu ylipainetta ja alaosaan alipainetta. Yksikerroksisessa ja aukottomassa rakennuksessa neutraaliakseli sijaitsee kerroksen puolivälissä. Savupiippuvaikutuksen suuruuteen vaikuttavat rakenteen aukotus, tulisija, IV-laitteet sekä ulko- ja sisäilman lämpötilaero. Korkeissa rakennuksissa savupiippuvaikutus saattaa hankaloittaa koneellisen ilmanvaihdon toimivuutta. (Siikanen 1996, 32–33.)

Tuuli vaikuttaa rakennusten rakenneteknisen mitoittamisen lisäksi rakennusten ilmanpaineisiin. Tuuli aiheuttaa voimakkuudesta ja suunnasta riippuen rakennukseen ali- tai ylipainetta. Yli- tai alipaineen suhde voi vaihdella nopeasti, ja se

saattaa haitata rakennuksen sisällä painesuhteita ja ilmanvaihtoa. Tuulella on myös vaikutusta rakennusten energiankulutukseen, sillä kovalla tuulella seinän läpi tapahtuu lämmön- ja kosteuden siirtymistä. Rakennuksen sijainnilla ja tiiviydellä on vaikutusta tuulen aiheuttamaan energiankulutukseen. (Siikanen 1996, 33.)

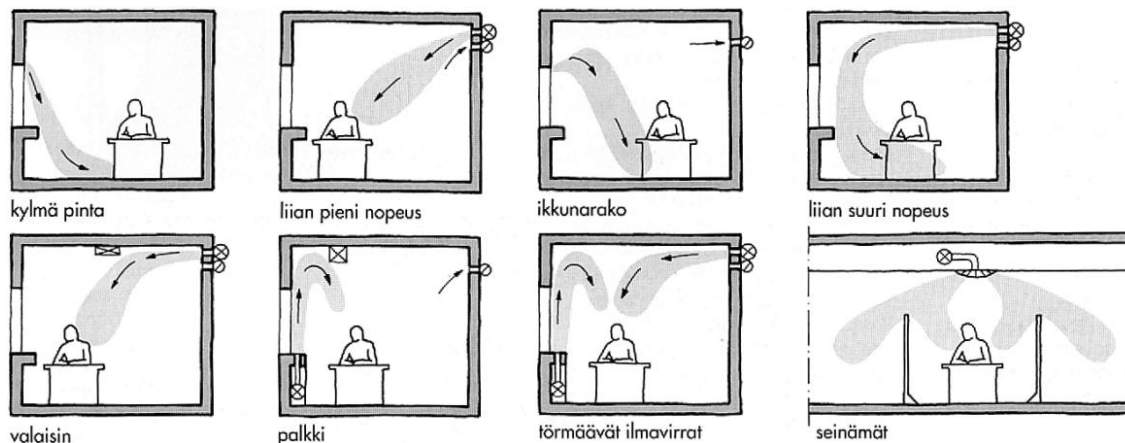
Lähtökohtaisesti ilmanvaihtojärjestelmän paineet suunnitellaan siten, että ilma virtaa puhtaammista tiloista tiloihin, joissa syntyy enemmän epäpuhtauksia. Nykyisin rakennusten ilmanvaihto suunnitellaan ulkoilmaan nähden alipaineisiksi. Tämän avulla pyritään välttämään kosteuden tunkeutuminen rakenteisiin. Alipaine ei kuitenkaan saa yleensä olla enempää kuin 30 Pa. Tästä voidaan kuitenkin poiketa, sillä esimerkiksi tietyt puhdastiloja voidaan suunnitella ylipaineiseksi ja tiloja, joissa syntyy runsaasti epäpuhtauksia, muihin ympäröiviin tiloihin nähden alipaineiseksi. Ilmanvaihdon huonetiloihin luomista paineista ei saa aiheutua rakenteisiin pitkäaikaista kosteusrasitusta. (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012b, 19.)

Nykyisin suositaan mahdollisimman tiiviitä rakennuksia. Yhdessä alipaineen kanssa tämä edesauttaa kosteuden liikkeiden hallintaa ja parantaa energiatehokkuutta. Tiiviistä rakenteesta lämpöenergiaa ei kulkeudu ilmapirran mukana ulos. Samalla estetään kosteuden tunkeutuminen rakenteisiin.

Rakennukseen ilmanvaihtojärjestelmällä luodulla alipaineella pyritään edistämään rakenteiden kosteusteknistä toimintaa ja energiatehokkuutta. Energiämäärysten kiristymisen myötä rakennuksissa suositaan tulo-poisto-ilmanvaihtojärjestelmää poistoilman lämmön talteenotolla. Järjestelmän etuna on energiatehokkuuden parantumisen lisäksi hallittu tuloilman tuonti rakenteeseen. Tämä vähentää hallitsemattomasti rakenteiden läpi tulevan ilman määrää. Samalla tuloilmaa voidaan lämmittää ja se voidaan tarvittaessa puhdistaa johtamalla ilma suodattimien läpi.

Hallitsemattomista ilman liikkeistä voi aiheutua vedon tunnetta. Vedon tunteeseen vaikuttaa ilman liikkeiden lisäksi lämpötilan ja säteilylämmönsiirron yhteisvaikutus. Vedon tunne syntyy helposti liian suuresta tuloilman puhallusnopeu-

desta, hallitsemattomasta esteen aiheuttamasta ilmavirran suunnan muutoksesta tai tilan lämpötilasta poikkeavista pinnoista johtuvasta ilman virtauksesta. (RT 07-10564, 5.) Erilaisia vedon tunteen aiheuttajia esitetään kuvassa 10.



Kuva 10. Syitä vedon tunteeseen (RT 07-10564, 5).

2.4 Ääni

Ääni on väliaineessa etenevää värähtelyä, jossa värähtelyn tiheys eli taajuus vaihtelee. Väliaineiksi käyvät kaikki kimmoiset materiaalit, jossa värähtely pääsee etenemään. Tämän värähtelyn ihminen kuulee erikorkuisina ja voimakkuuksisina ääninä. Harva värähtely kuullaan matalina ja tiheä värähtely korkeina ääninä. Värähtelytaajuus kertoo värähtelyjen määrän sekunnissa ja sen yksikkö on 1/sek ja tunnus Hz. Keskimääräinen ihmisen kuuloalue kattaa taajuuksia 16–16 000 Hz. (Siikanen 1996, 115, 117 & 119.)

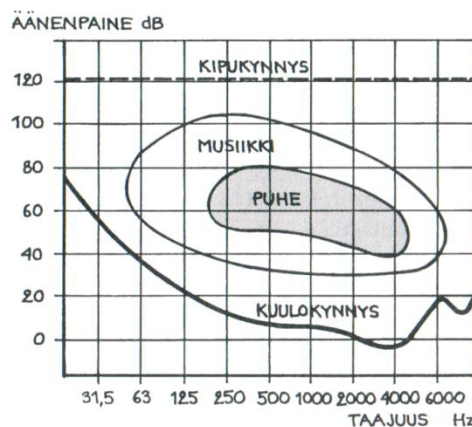
Ääniaallon etenemisnopeus riippuu väliaineesta ja lämpötilasta sekä etenemis muodosta. Taulukkoon 6 on koottu muutamien rakennusosalalla tavattavien materiaalien äänennopeuksia 20 °C:n lämpötilassa normaalissa ilmanpaineessa.

Taulukko 6. Äänen nopeus eri väliaineissa (Seppänen ym. 1991, 88).

Aine	Nopeus [m/s]
alumiini	5080
kupari	3800
rauta (teräs)	5100
betoni	4300
lasi	4000...5000
puu	3500
tiili	3650
vesi	1484
ilma	343

Äänen voimakkuus

Äänen voimakkuus ilmoitetaan desibeleinä [dB]. Desibeliasteikko on logaritminen asteikko, jossa äänen intensiteetti kasvaa kymmenkertaiseksi desibelimäärän kasvaessa 10 dB:llä. Kuten kuvasta 11 nähdään, ihminen kuulee eritaajuiset äänet eri voimakkuudella. Tästä johtuen äänenvoimakkuutta desibelimittarilla mitattaessa tulee mittaustasoa painottaa paremmin ihmisen kuulon toimintaa vastaavaksi. Tällöin puhutaan A-painotetusta äänenpainetasosta.



Kuva 11. Ihmiskorvan kuuloalue eri taajuuksilla (Siikanen 1996, 121).

Äänen voimakkuuksille on määritelty turvallisuusrajat, joiden tehtävänä on suojella kuulijaa ja tämän kuuloa. Suositusajat on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Suositellut maksimiajat eri melutasoilla (Seppänen ym. 1991, 89).

Melutaso [dB]	Aika
85	8 h
88	4 h
91	2 h
94	1 h
97	30 min
100	15 min
103	7 min
106	3 min

Äänen siirtyminen

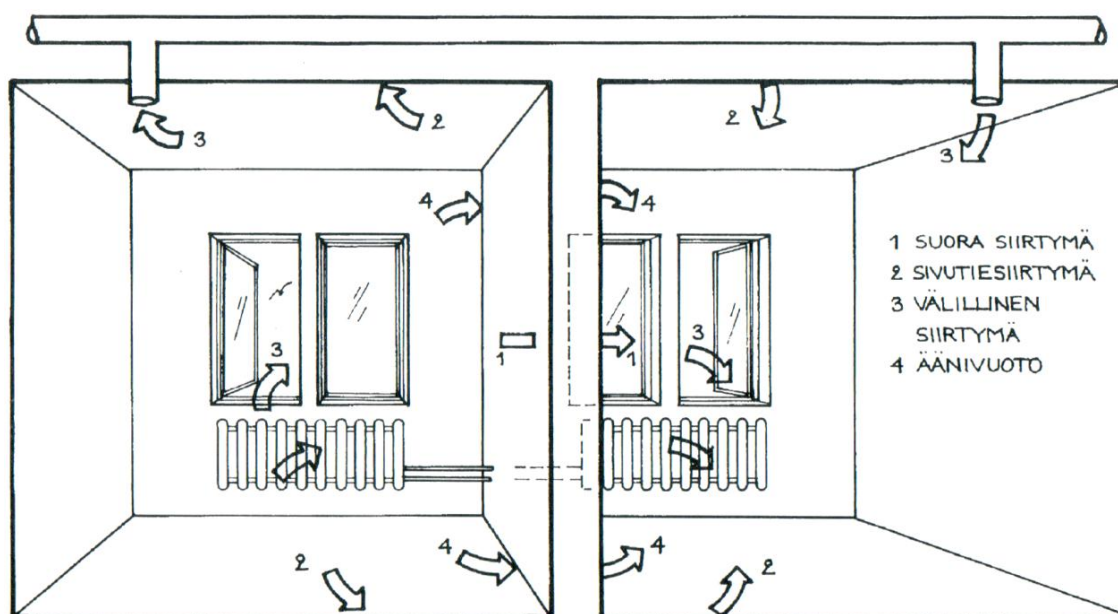
Rakennusten äänistä puhuttaessa voidaan äänet jakaa synty- tai siirtymistavan perusteella kolmeen eri tyyppiin. Ilmääänestä puhuttaessa tarkoitetaan ääntä, joka leviää ilman välityksellä äänilähteestä ympäristöön. Runkoääni on ääntä, joka syntyy, kun rakennuksen runko tai muu kiinteä kappale värähtelee ja aiheuttaa ilmaääntä. Kun esimerkiksi lattialla tai portaikoissa kulkemisesta aiheutuva runkoääni kuuluu muihin tiloihin, puhutaan askeläänenestä. Askelääniä ovat myös esimerkiksi esineiden siirtelystä lattiaa pitkin aiheutuvat äänet. (Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto 1998, 2.)

Rakennuksissa ääni siirtyy tilasta toiseen usealla eri tavalla (kuva 12). Suoralla siirtymällä tarkoitetaan suoraan rakenteen läpi tapahtuvaa äänen siirtymistä. Tällöin ilmaääni siirtyy rakenteen läpi viereiseen tilaan. Suoraa siirtymää voidaan vähentää rakenteen ääneneristyskykyä parantamalla.

Sivutiesiirtymässä ääni kulkeutuu tilasta toiseen muun muassa rakennusosien, ilmanvaihtokanavien ja lämmityspotkien välityksellä. Rakenteista ja äänen taajuudesta sekä voimakkuudesta riippuen ääni voi liikkua kuulua sivutiesiirtymänä kauas alkulähteiltä. Esimerkiksi matalataajuinen basso voi kuulua betonikerrostalossa monien kerrosten päähän. Tällaisessa tilanteessa äänenlähteen sijaintia on erittäin vaikeaa selvittää. Sivutiesiirtymä tulisi ottaa huomioon suunnittelu-

vaiheessa, sillä se heikentää rakenteiden ilmaääneneristävyyttä. (Siikanen 1996, 142.)

Äänivuoto aiheutuu rakenteiden liittymien ja rakenteissa olevien läpivientien kautta. Äänivuotojen estämisen perusteena on rakenteen tiiviys. Rakenteen tiiviys on syytä huomioida suunnitteluvaiheessa, ja etenkin eri rakenneosien liittymillä on suuri vaikutus äänen kulkeutumiseen huonetilasta toiseen. (Siikanen 1996, 140–142.)



Kuva 12. Äänen siirtymistavat tilasta toiseen (Siikanen 1996, 142).

Ilmaääneneristys

Ääneneristyksellä estetään äänen siirtyminen tilasta toiseen. Eri materiaaleilla on erilainen kyky eristää ääniä. Rakenteen ilmaääneneristyskykyyn vaikuttavat materiaalin lisäksi muun muassa materiaalipaksuus, rakenteen kerroksellisuus, tiiviys ja liittymät muihin rakenteisiin. (Siikanen 1996, 124.)

Rakenteen ilmanääneneristyskyky R [dB] määritellään rakenteeseen kohdistuvan äänitehon ja rakenteen läpi siirtyneen äänitehon suhteella. Eristävyys ei ole sama kaikille taajuuksille, vaan se riippuu rakenteeseen kohdistuvan äänen taajuudesta. Ilmaääneneristyskyky saadaan laskettua kaavalla

$$R = 10 \lg \frac{W_1}{W_2}, \quad (15)$$

missä

W_1	rakenteeseen kohdistuva ääniteho	[W]
W_2	rakenteen läpi siirtyneen äänen ääniteho	[W].

(Kylliäinen 2006, 47.)

Rakenteet voidaan jakaa ilmaääneneristävyydeltään kahteen eri tyyppiin. Kaikkein yksinkertaisimpia ovat yksinkertaiset massiiviset rakenteet, joiden eristyskyky perustuu massaan eli suureen neliömetripainoon. Massiivisissa rakenteissa ääneneristyskykyyn vaikuttavat myös muun muassa taivutusjäykkyys ja se, kuinka paljon äänienergiasta muuttuu muihin energiamuotoihin. Yksinkertaisissa rakenteissa ääneneristyskyky noudattelee massalakia, jossa rakennepaksuuden tai äänen taajuuden kaksinkertaistaminen parantaa eristyskykyä 6 dB:llä. (Siikanen 1996, 124–125.)

Kaksinkertaisella rakenteella tarkoitetaan rakennetta, jonka ääneneristyskyky perustuu rakenteen massan lisäksi rakennekerrosten rajapinnoissa tapahtuvaan äänienergian pienenemiseen. Esimerkkeinä kaksinkertaisista rakenteista ovat kipsilevyseinät, jotka on levytetty seinän kummaltakin puolelta, sekä kaksinkertaiset tiiliseinät. Äänieristyksen kannalta kerrosten välissä oleva ilmarako tehostaa ääneneristävyyttä. Samoin ilmarakoon sijoitettu pehmeä eriste parantaa ääneneristystä. Kaksinkertaisen rakenteen ilmaääneneristävyys paranee noin 6 dB kaksinkertaistamalla seinäpuoliskojen massan tai seinäpuoliskojen välisen etäisyyden. (Kylliäinen 2006, 57; Siikanen 1996, 127–128.)

Runko- ja askeläänen eristys

Koska rakennuksissa runkoäänet kulkeutuvat pitkiä matkoja, on niiden hallinta tärkeää. Runkoäänen eteneminen voidaan estää irrottamalla runkoäänenlähde rungosta (laitteet, koneet ja moottorit yms.) tai katkaisemalla äänen eteneminen etenemisreitillä varrella tai häirityn tilan kohdalla. Äänen etenemisreitillä katkaiseminen edellyttää ääniteknistä rakennesaumaa. Saumaa tehtäessä on huomi-

oitava se, että äänitekniinen sauma on ulotettava koko rakennuksen läpi ylhäältä alas ja saumaa rajoittavat rungon osat eivät saa koskea toisiinsa. (Siikanen 1996, 136–137.)

Askelääneneristyksellä pyritään estämään väli- ja alapohjissa askelista tai tavaroiden liikuttelusta syntyvät äänet. Runkoääninä askeläät kantautuvat kauas. Ne voivat aiheuttaa rumpumaisia kaikuja synty- ja sen alapuoliseen tilaan. Askeläätien syntyyn ja kulkeutumiseen voidaan vaikuttaa muun muassa lattian massalla, lattiapäällysteellä, alapuolisella kattoverhouksella ja sivutiesiirtymien hallinnalla. Yleisimmät keinot askeläätien hallinnassa ovat kelluva lattiarakenne ja pehmeät lattiapinnoitteet. (Siikanen 1996, 137–139.)

2.5 Palo

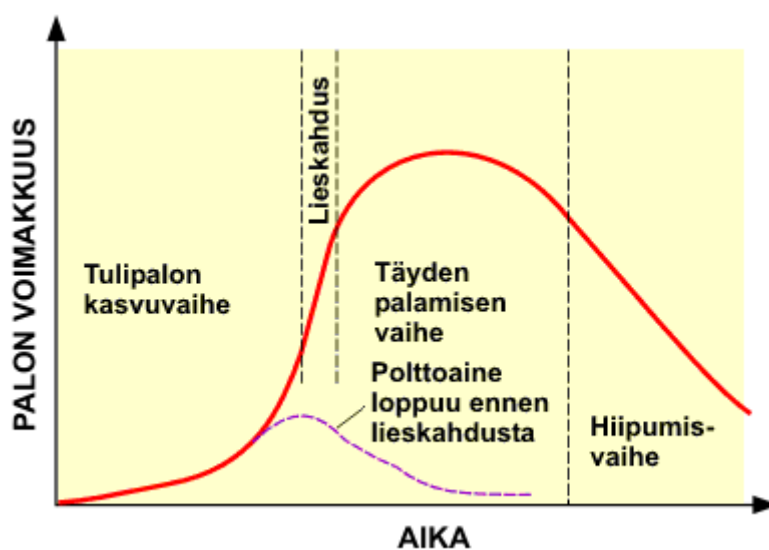
Rakennusten paloasiat ja -määräykset eivät varsinaisesti ole rakennusfysiikkaa, mutta ne ovat olennainen osa rakennusteknistä suunnittelua. Tästä johtuen paloasioiden ja -määräysten peruskäsitteet käydään läpi tässä yhteydessä. Jako paloluokkiin voidaan tehdä usealla tavalla. Jakoperusteina voivat olla rakennusten paloluokat, rakennusosiin kohdistuvat vaatimukset ja rakennustarvikkeiden paloluokat. (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2011, 5–6.)

Palaminen on katkeamaton ketjureaktio, jossa aine yhtyy happeen. Palamisen edellytyksenä ovat ketjureaktion lisäksi riittävä lämpötila, palava aine ja happi. Palamisnopeus voi vaihdella palavasta aineesta ja vallitsevista olosuhteista riippuen hitaasta hapettumisesta räjähdysmäiseen palamiseen. (Siikanen 1996, 65.)

Tulipalon vaiheet

Tulipalo on jaettavissa kuvan 13 osoittamalla tavalla neljään toisistaan poikkeavaan vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on palon kasvu- tai syttymisvaihe, jossa palo leviää ja lämpötila kohoaa hitaasti. Tulipalon kasvuvaiheessa palaminen yleensä rajoittuu syttymiskohdan läheisyyteen ja lämpötila kohoaa noin

400 °C:seen. Lämpötilan kohotessa tästä syttyvät tilassa olevat palavat materiaalit räjähdysmäisesti aiheuttaen lieskahduksen. Lieskahduksessa lämpötila kohoaa nopeasti jopa 1 200 °C:seen. Tästä alkaa täyden palamisen vaihe. Vaiheen pituuteen vaikuttaa palavan materiaalin määrä, palamisnopeus ja palon hapensaantimahdollisuudet. Kantavien rakenteiden kestolla on merkitystä juuri tässä palon vaiheessa. Lopulta, kun kaikki palava materiaali on palanut, alkaa tulipalon hiipumisvaihe. Tässä vaiheessa lämpötila laskee nopeasti. (Siikanen 1996, 66–67.)



Kuva 13. Tulipalon eri vaiheet (Palovara 2013).

Rakennusten ja rakenteiden paloluokat

Rakennukset jaetaan kolmeen paloluokkaan: P1, P2 ja P3. Näistä tiukimmat vaatimukset rakenteiden kestolle palossa asetetaan luokassa P1 ja keveimmät vaatimukset luokassa P3. Paloluokille asetetut vaatimukset koon ja henkilömäärän mukaan esitetään taulukoissa 8 ja 9. Alla esitettyihin taulukoihin saattaa liittyä lisäehtoja, joita ei tässä yhteydessä ole mainittu.

Taulukko 8. Rakennuksen kokoa koskevat rajoitukset eri paloluokissa (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2011, 11).

Rakennuksen ominaisuus	P1	P2	P3
KERROSLUKU			
- yleensä	ei rajoitusta	enintään 2	enintään 2
- asuinrakennus	ei rajoitusta	enintään 8	enintään 2
- tuotanto- tai varastorakennus, autosuoja	ei rajoitusta	enintään 2	enintään 1
KORKEUS			
- yleensä	ei rajoitusta	enintään 9 m	enintään 9 m
- asuinrakennus, työpaikkarakennus 3–4 krs.	ei rajoitusta	enintään 14 m	ei sallittu
- asuinrakennus, työpaikkarakennus 5–8 krs.	ei rajoitusta	enintään 26 m	ei sallittu
- yksikerroksinen tuotanto- tai varastorakennus	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 14 m
KERROSALA			
Kerrosala yleensä			
- yksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 2400 m ²
- kaksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 1600 m ²
- yli kaksikerroksinen	ei rajoitusta	enintään 12000 m ²	ei sallittu
Kerrosala tuotanto- ja varastorakennuksissa sekä autosuojissa			
- yksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	ei rajoitusta
- kaksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	ei sallittu

Taulukko 9. Rakennuksen suurinta sallittua henkilömäärää koskevat rajoitukset eri paloluokissa (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2011, 12).

Käyttötapa	Kerroksia	P1	P2	P3
Asunnot		ei rajoitusta	ei rajoitusta	ei rajoitusta
Majoitustilat	1	ei rajoitusta	paikkaluku 150	paikkaluku 50
	2	ei rajoitusta	paikkaluku 50	paikkaluku 10

(jatkuu)

Taulukko 9 (jatkuu).

Käyttötapa	Kerroksia	P1	P2	P3
Hoitolaitokset	1	ei rajoitusta	paikkaluku 100	paikkaluku 10
	2	ei rajoitusta	paikkaluku 25	ei sallittu
Kokoontumis- ja liiketilat	1	ei rajoitusta	ei rajoitusta	henkilöitä 500
	2	ei rajoitusta	henkilöitä 250	henkilöitä 50
Työpaikkatilat	1	ei rajoitusta	ei rajoitusta	ei rajoitusta
	2	ei rajoitusta	ei rajoitusta	työntekijöitä 150
Tuotanto- ja varastotilat	1	ei rajoitusta	ei rajoitusta	ei rajoitusta
	2	ei rajoitusta	työntekijöitä 50	ei sallittu
		Milloin yli kaksikerroksisia rakennuksia saa taulukon 8 mukaan rakentaa, niissä ei ole henkilömäärärajoituksia.		

Rakenteiden palovaatimukset esitetään seuraavilla merkeillä:

- R kantavuus
- E tiiviys
- EI tiiviys ja eristävyys
- EI₁ tai EI₂ ovet ja ikkunat
- M iskunkestävyys palotilanteessa (tarvittaessa).

Rakennusosan paloluokka muodostetaan lisäämällä merkintöjen R, REI, RE, EI tai E jälkeen palonkestovaatimus minuutteina. Minuuttivaatimukset voivat olla 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 tai 240 minuuttia. Rakennusten palotilanteen vaatimustenmukaisuus osoitetaan joko kokeellisesti tai laskennallisesti. (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2011, 5.)

Palo-osastointi

Rakennukset jaetaan palo-osastoihin palon ja savukaasujen leviämisen estämiseksi. Lisäksi palo-osastointi helpottaa rakennuksen evakuointia, pelastus- ja sammutustoimia sekä rajaa omaisuusvahinkojen syntymistä. Rakennus voidaan jakaa osastoihin kerroksittain (kerrososastointi) tai pinta-alan mukaan (pinta-alaosastointi). (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2011, 13.)

Taulukossa 10 esitetään palo-osastoinnin enimmäisalat. Tämän lisäksi tauluk-
koon liittyy lisäehtoja, joita ei tässä yhteydessä erikseen luetella.

Taulukko 10. Palo-osastoinnin enimmäisalat (Ympäristöministeriö, Rakennetun
ympäristön osasto 2011, 14).

Käyttötapa	P1	P2	P3
KERROKSET			
Asuinrakennukset	osastointi huoneistoittain	osastointi huoneistoittain	osastointi huoneistoittain
Majoitustilat ja hoitolaitokset			
- yöpymistilat	800 m ²	800 m ²	400 m ²
- muut tilat	1600 m ²	1600 m ²	400 m ²
Kokoontumis- ja liiketilat sekä työpaikatilat	2400 m ²	2400 m ²	400 m ²
Tuotanto- ja varastotilat sekä autosuojat	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan	harkinnan mukaan
ULLAKOT JA YLÄPOHJAN ONTELOT	1600 m ²	1600 m ²	alapuolisten osastojen mukaan
KELLARIT	800 m ²	800 m ²	400 m ²

Rakennusmateriaalit

Rakennusmateriaalit jaetaan paloluokkiin sen mukaan, miten ne käyttäytyvät
palossa. Määritettäviä asioita ovat materiaalin vaikutus palon syttymiseen ja
leviämiseen sekä savuntuottoon ja palavaan pisarointiin. Rakennustarvikkeiden
luokat ovat lattiapäällysteitä lukuun ottamatta A1, A2, B, C, D, E ja F. Lattiapin-
noitteet saavat edellisiin luokkiin alaindeksin FL. Savun tuotto ilmaistaan lisä-
määreillä s1, s2 ja s3. Palavan pisaroinnin lisämääreitä ovat d0, d1 ja d2. Ra-
kennustarvikkeiden luokat ja lisämääreet ovat seuraavat:

- A1 tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon
- A2 tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu
- B tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu
- C tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti
- D tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä
- E tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä

- F tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty
- s1 savuntuotto on erittäin vähäistä
- s2 savuntuotto on vähäistä
- s3 savuntuotto ei täytä s1 eikä s2 vaatimuksia
- d0 palavia pisaroita tai osia ei esiinny
- d1 palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti
- d2 palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia.
(Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2011, 5.)

Palokuorma

Palokuorma määritetään palo-osaston tilojen pääkäyttötarkoituksen mukaan. Palokuorma voidaan määrittää käyttötarkoituksen lisäksi laskemalla tai luotettavan arvion perusteella. (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, E1 2011, 9.) Palokuormia määriteltäessä rakenteiden eri toiminnot jaetaan palokuorman tiheyden mukaan taulukon 11 esittämällä tavalla.

Taulukko 11. Palokuorman määrittäminen eri palokuormaryhmissä (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2011, 10).

Tila/toiminto	Palokuorma [MJ/m ²]
varastot, jotka ovat erillisiä palo-osastoja	≥ 1200 MJ/m ²
<ul style="list-style-type: none"> • osa kokoontumis- ja liiketiloista kuten myymälät, näyttelyhallit ja kirjastot • asuinrakennusten kellariosastot, jotka sisältävät irtaimistovarastoja • moottoriajoneuvojen korjaus- ja huoltotilat 	≥ 600 MJ/m ² , < 1200 MJ/m ²
<ul style="list-style-type: none"> • asunnot, majoitustilat ja hoitolaitokset • osa kokoontumis- ja liiketiloista kuten ravintolat enintään 300 h-m²:n myymälät, toimistot, koulut urheiluhallit, teatterit, kirkot ja päivähoitolaitokset • autosuojat 	< 600 MJ/m ²

3 UUDISTUNEET RAKENNUSTEN ENERGIAMÄÄRÄYKSET

Rakennusten energiatehokkuusvaatimuksia on viimeisten vuosikymmenien aikana kiristetty huomattavasti. Rakennusten energiatehokkuutta on parannettu kiristämällä rakennusosien U-arvovaatimuksia. Viimeisin kiristys tapahtui 2010. Vuonna 2012 rakennusten energiatehokkuusajattelussa painopistettä siirrettiin rakennekohtaisista energiatehokkuusvaatimuksista kohti kokonaisenergiatarkastelua.

3.1 Energiatehokkuusvaatimukset

Ensimmäiset rakennusten U-arvoa koskevat säädökset määrettiin Suomen rakentamismääräyskokoelmassa vuonna 1976. Viimeisimmät U-arvovaatimukset vuodelta 2010 ovat rakennusosasta riippuen noin 50...75 % tiukemmat kuin vuonna 1976. Taulukkoon 12 on koottu U-arvovaatimuskehitys vuosikymmenien saatossa lämpimän ja kylmän tilan välillä. Tämän lisäksi on olemassa erilliset vaatimukset lämpimän ja puolilämpimän sekä puolilämpimän ja kylmän tilan välille.

Taulukko 12. Rakennusten energiatehokkuusvaatimusten kehittyminen (Keski-Suomen energiatoimisto 2011, 4).

Rakennusosien U-arvot	1976	1978	1985	2003	2007	2010	2012
Ulkoseinä	0,40 ^{1.}	0,29 ^{1.}	0,28	0,25	0,24	0,17 / 0,40 ^{2.}	0,17 / 0,40 ^{2.}
Yläpohja	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Alapohja	0,40	0,40	0,36	0,20 ^{3.} / 0,25 ^{4.}	0,19 ^{3.} / 0,24 ^{4.}	0,16 ^{3.} / 0,17 ^{4.}	0,16 ^{3.} / 0,17 ^{4.}
Ikkunat	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
Ovet	0,7	0,7	0,7	1,4	1,4	1,0	1,0

(jatkuu)

Taulukko 12 (jatkuu).

Muut laskennan lähtöarvot	1976	1978	1985	2003	2007	2010	2012
n_{50} -luku	6	6	6	4	4	2	$q_{50} = 2$, max. 4
LTO:n vuosihyötysuhde	0	0	0	30 %	30 %	45 %	45 %
Vaipan lämpöhäviön jousto	0	0	0	10 %	20 %	30 %	Ei rajoitusta
Kokonaisenergiavaatimus							E-luku
Primäärienergiavaatimus							E-luku

1. Kevytrakenteisen seinän ($\text{massa} \leq 100 \text{ kg/m}^2$) U-arvovaatimus.
2. Hirsiseinä.
3. Ryömintätilainen alapohja.
4. Maanvarainen alapohja.

Vuoden 2012 rakentamismääräyskokoelman C3-osan päivityksen yhteydessä rakennusten energiasuunnittelusta tehtiin kokonaisvaltaisempaa ottamalla käyttöön rakennuksissa kokonaisenergiatarkastelu. Kokonaisenergiatarkastelu asettaa vanhasta poiketen uudet rakennuskohtaiset energiavaatimukset ja antaa suunnittelijoille enemmän vapauksia valita, millä keinolla vaatimukset saavutetaan. Kun hankekohtaisesti voidaan valita tarkoituksenmukaiset ratkaisut, syntyy kustannussäästöjä. (Kurnitski 2012, 8.) Esimerkiksi hyvällä tiiviydellä ja energiatehokkaalla ilmanvaihdon järjestämisellä voidaan rakenteiden U-arvovaatimuksia laskea.

3.2 Kokonaisenergiatarkastelu ja E-luku

Rakennusten kokonaisenergiatarkastelussa huomioidaan rakennukseen tuodun energian energiamuoto. Energiamuotokertoimella pyritään ohjaamaan uusien rakennusten energian käyttöä kohti uusiutuvaa energiaa. Taulukossa 13 esitetään eri energiamuodoille asetettu energiamuodon kerroin.

Taulukko 13. E-luvun laskennassa käytetyt energiamuodon kertoimet (Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012c, 8).

Energiamuoto	Energiamuodon kerroin
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Energiatehokkuuslukua laskettaessa huomioidaan kaikki vuoden aikana rakennukseen tuotu energia eri energiakertoimilla kerrottuna. E-luku saadaan laskettua kaavalla

$$E - luku = \frac{\sum \text{rakenn. ostettu energia} * \text{energiamuodon kerroin}}{\text{lämmitetty nettoala}}. \quad (16)$$

E-luvun yksikkö on kWh/m². (Kurnitski 2012, 8.)

Laskentaesimerkkinä mainittakoon, että mikäli rakennukseen tuodaan vuodessa kaukolämmöllä (energiamuodon kerroin 0,7) 60 kWh/m² lämpöenergiaa ja sähköä (energiamuodon kerroin 1,7) 40 kWh/m², saadaan rakennuksen E-luvuksi

$$60 \frac{kWh}{m^2} * 0,7 + 40 \frac{kWh}{m^2} * 1,7 = 110 \frac{kWh}{m^2}$$

(Kurnitski 2012, 9).

E-lukuvaatimus ei ole sama kaikille rakennuksille, vaan se vaihtelee rakennustyyppin mukaan. Rakennukset jaetaan eri luokkiin ja kullekin luokalle on omat energiatehokkuusvaatimukset. Mikäli rakennuksella on useita eri käyttötarkoituksia, lasketaan jokaiselle osalle oma E-luku. Tältä vältytään, mikäli osa on alle 10 % lämmitetystä nettoalasta. (Kurnitski 2012, 10.)

Koska esimerkiksi rakennuksen sijainti ja loppukäyttäjän valinnat vaikuttavat muun muassa lämmityksen säädön kautta ostetun energian määrään, lasketaan E-luku niin sanotun standardikäytön mukaan. Tällä taataan vertailukelpoiset laskelmat. E-luku ei siis kerro rakennuksen todellista energiankulutusta,

vaan antaa työkalun eri rakennusten energiatehokkuuden vertailuun. (Kurnitski 2010, 20–21.)

Rakennuksen ilmatiiviydellä on huomattava vaikutus E-luvun laskennassa ja todellisessa energiankulutuksessa. Eniten ilmapuotoa on eri rakenteiden nurkka- ja liitoskohdissa. Tämän takia energiatehokkuuslaskennassa huomioidaan liitokset rakenteiden kylmäsiltoina, ja eri rakenneosien liitoksille määritellään lisäkonduktanssien arvot.

Kiristyneiden energiamääräysten saavuttaminen edellyttää parempaa ja kokonaisvaltaisempaa suunnittelua. Rakennussuunnittelussa tulee huomioida paremmin tilanjako ja rakennuksen massoittelu. Rakennesuunnittelussa pystytään vaikuttamaan energiankulutukseen rakenteiden liitosten huolellisella suunnittelulla ja järkevillä kohdekohtaisesti tehtävillä materiaali- ja rakenneratkaisuilla. LVIS-suunnitelmat vaikuttavat nekin suuresti energiankulutukseen.

Ympäristöministeriö on päivittämässä Suomen rakennusmääräyskokoelman osaa D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjetta. Tällä hetkellä ohjeesta on 14.3.2012 päivätty luonnosversio, joka sisältää laskentatavat ja -määritteet erilaisten rakennusten ja rakenteiden E-luvun laskentaan.

1.6.2013 astuu Suomessa voimaan energiatodistuslaki. Uusi laki velvoittaa hankkimaan energiatodistuksen rakennuksesta tai rakennusosasta ”lähes kaikessa uudisrakentamisessa sekä myynnin ja vuokrauksen yhteydessä asuinkerrostaloissa ja uudehkoissa pientaloissa” (Ympäristöministeriö 2013a, 1). Rakennukset jaetaan energiatehokkuusluokkiin A–G. Rakennuksen saama luokitus riippuu rakennustyyppistä ja pientalon kohdalla myös koosta. Rakennustyyppi- ja kokokohtaiset luokitteluasteikot sekä näitä vastaavat E-luvut löytyvät 27.2.2013 annetun energiatodistuslakia koskevan asetuksen liitteestä 2. (Ympäristöministeriö 2013b, 2.)

4 SPU-ERISTEIDEN OMINAISUUDET

Polyuretaani on yleisnimitys solumuovieristeelle, joka pohjautuu joko polyuretaaniin (PUR) tai polyisosyanuraattiin (PIR). Sen pääraaka-aineita ovat metyleenibisfenyyli-isosyanaatti eli MDI ja polyoli. Näiden lisäksi tarvitaan ponneainetta ja haluttujen ominaisuuksien mukaan käytettäviä lisäaineita. Polyuretaanin valmistuksessa aineiden sekoittamisesta syntyy kemiallinen, runsaasti lämpöä tuottava reaktio, jossa ponneaine kaasuuntuu. Kaasuuntumisen johdosta seoksen tilavuus laajenee ja eristeeseen muodostuu pieniä umpisoluisia kaasuja ja ilmakuplia. Polyuretaania on saatavana muun muassa erilaisina eristelevyinä ja tiivistysvaahtoina. (PU-eristeet 2013; PU Nordic 2013.)

4.1 Tuotteet

SPU:lla on tuotevalikoimissaan laaja kirjo erilaisia ja erilaisilla ominaisuuksilla varustettuja polyuretaanieristelevyjä. Työn liitteeksi A-Insinööreille tehtävään ohjekansioon valituissa rakennetyypeissä ja -detaljeissa käytetään SPU:n tuotteita AL, P, H, FR, R, Vintti-lita ja Anselmi. Yllä mainittujen eristeiden tiedot on koottu taulukkoon 14.

Taulukko 14. Opinnäytetyön rakennetyypeissä esiintyvien eristelevyjen ominaisuudet (SPU Eristeet 2013g).

Eristelevy	Levykoot [mm]	Paksuudet [mm]	Lämmönjohtavuus λ_D [W/mK]	Pontti	Pinnoite
AL	1200 x 2400 30-170 mm paksuudet 900 x 2400 180-200 mm paksuudet	30...200 10 mm välein	0,023	Ympäritäyspontattu Valmistetaan tilauksesta myös suorareunaisena	Alumiinilaminaatti levyn molemmin puolin
P	600 x 2400 erikoiskoot tilauksen mukaan	30...200 10 mm välein	0,023	Suorareunainen Erikoistilauksesta myös muita pontteja saatavana	Muovipinnoitettu seitsemänkerroslaminaatti levyn molemmin puolin

(jatkuu)

Taulukko 14 (jatkuu).

Eristelevy	Levykoot [mm]	Paksuudet [mm]	Lämmön- johtavuus λ_D [W/mK]	Pontti	Pinnoite
H	Sopimuksen mukaan	Sopimuksen mukaan	Sopimuksen mukaan	Sopimuksen mukaan	Hiottu, liimaurat
FR	1200 x 2400 tai 600 x 1200	80...200 10 mm välein, tilaustuote	0,023	Täyspontti, puolipontti tai suora-reunainen tilauksen mukaan	Metalliton erikoispinnoite levyn molemmin puolin
R	1200x2400	30...200 10 mm välein	0,023	Ympäritäyspontattu	Diffuusiotiivis alumiinivapaa laminaatti levyn molemmin puolin
Vintti-lita	1200 x 2600 70 mm saatavana myös levykoossa 600 x 2600	70 / 90 / 120 / 160	0,023	Täyspontti pitkillä sivuilla, päädyt suoria	Alumiinilaminaatti levyn molemmin puolin
Anselmi	600 x 2600	40 / 70 eriste joko 30 tai 60 mm	0,027	Puolipontti pitkillä sivuilla, päädyt suoria	Toisella puolella 9 mm kipsilevy ja toisella puolella paperipinta

4.2 Tekniset ominaisuudet

SPU käyttää sekä polyuretaaniin että polyisosyanuraattiin perustuvaa polyuretaania eristelevyissään. Materiaalivalinta vaikuttaa jonkin verran eristeen ominaisuuksiin muun muassa lämmönläpäisykertoimen osalta. (SPU Eristeet 2013e.) Taulukkoon 15 on koottu SPU:n PUR- ja PIR-eristeiden tekniset tiedot.

Taulukko 15. SPU:n polyuretaanieristeiden tekniset ominaisuudet (SPU Eristeet 2013e).

	SPU Eristeet, PIR	SPU Eristeet, PUR (teollisuuden erikoistuotteet)
Solurakenne	Umpisoluisuus yli 90 %	Umpisoluisuus yli 90 %
Lämmönjohtavuus EN ISO 10456, EN 13165 suunnitteluarvo λ_{design} = ilmoitettu arvo λ_D	0,023 W/mK, diffuusiotiivis pinnoite, SPU AL, SPU P, SPU Vintti-lita, SPU Sauna-Satu ja SPU Pientalotuotteet 0,022 W/mK SPU SP Ei diffuusiotiiviillä pinnoitteella varustetut tuotteet 0,025 W/mK, paksuus ≥ 80 mm 0,026 W/mK, paksuus ≤ 80 mm	0,024 W/mK, diffuusiotiivis alumiinipinnoite, Ei diffuusiotiiviillä pinnoitteella varustetut tuotteet 0,026 W/mK, paksuus ≥ 80 mm 0,027 W/mK, paksuus ≤ 80 mm
Tiheys	32–38 kg/m ³ , tuotteen mukaan	32–80 kg/m ³ , tuotteen mukaan
Vedenimeytyminen EN 12087	$\leq 1,5$ til. -%	$\leq 1,5$ til. -%
Vesihöyrynläpäisevyys - pinnoittamaton eriste	0,1–1,2 x 10 ⁻¹² kg/msPa	0,1–1,2 x 10 ⁻¹² kg/msPa
Puristuslujuus EN 826	≥ 100 kPa	≥ 100 kPa
Vetolujuus EN 1607		≥ 230 kPa
Lämpölaajenemiskerroin	5-8 x 10 ⁻⁵ / °C	5-8 x 10 ⁻⁵ / °C
Palokäyttäytyminen EN 13501-1, EN 13823, EN ISO 11925-2	D-s2, d0, pinnoittamaton levy, SPU H. E, diffuusiotiivis alumiinilaminaatti, SPU AL. F, betonteollisuuden erikoislaminaatti, SPU P.	E, alumiinilaminaatti. F, paperilaminaatti. B-s1, d0, kipsilevy-pinnoite, SPU Anselmi.
Lämmönkesto - normaalituotteet - syttymislämpötila	-40+100 °C, lyhytaikainen +250 °C Yli +400 °C, liekillä n. +300 °C	-40 – +100 °C, lyhytaikainen +250 °C Yli +400 °C, liekillä n. +300 °C
Radonin läpäisevyys - SPU AL/P (diffuusiotiivis pinnoite)	≈ 0 %	≈ 0 %

Eristemateriaalin lisäksi tuotteen teknisiin ominaisuuksiin vaikutetaan levyn pinnoittamisella. Valmistusprosessissa eristelevy pinnoitetaan aina. Pinnoitteena voidaan käyttää erilaisia laminaatteja, kuten muun muassa paperi-, alumiini-, lasikuitu- ja bitumilaminaattia. Polyuretaanieristelevyjä on saatavana myös ilman pinnoitusta (SPU H), mutta tällöin paperipinnoitetusta levystä hiotaan pa-

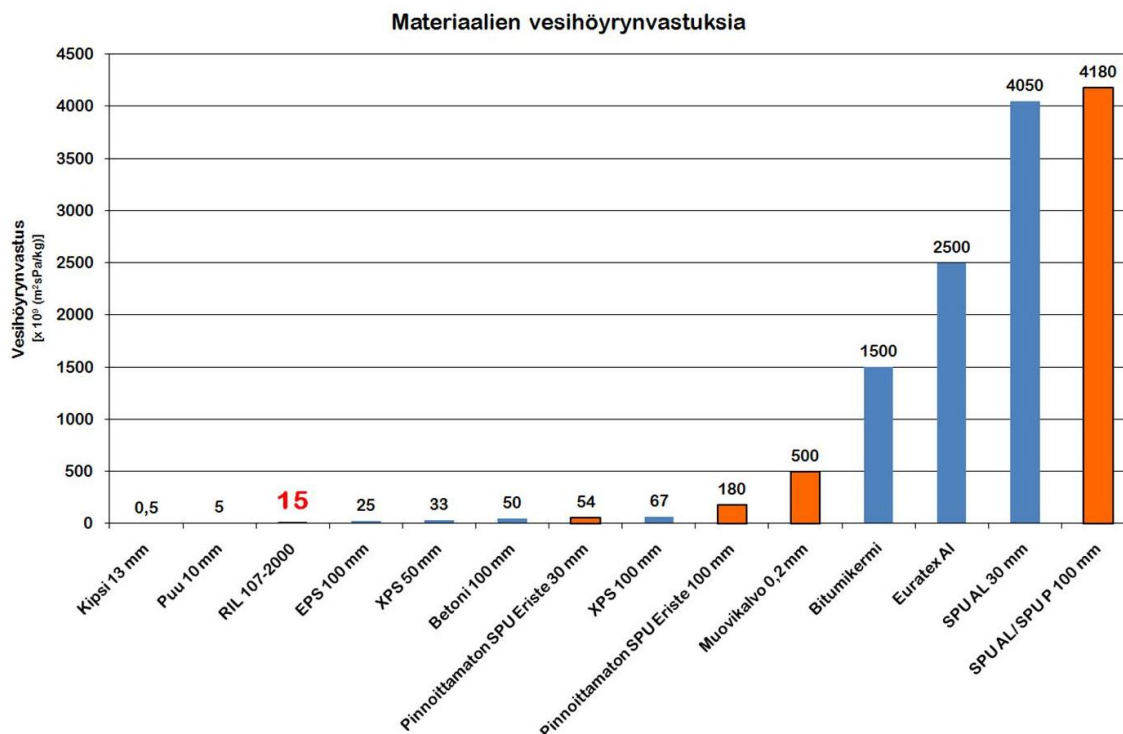
perilaminaatti pois. (P. Käkälä, henkilökohtainen tiedonanto 17.9.2012.) Eristelevyyn voidaan myös liimata valmiiksi rakennuslevy, kuten SPU Anselmissa, johon on liimattu 9 mm:n kipsilevy.

Lämmöneristys

Polyuretaanieristeellä on hyvä lämmöneristyskyky. Tuotteesta riippuen eristele-
vyn lämmönjohtavuusarvo λ_D vaihtelee välillä 0,022–0,027 W/mK. (SPU Eristeet
2013g.) Yleisesti käytössä olevilla mineraalivilloilla lämmönjohtavuuden suunnit-
teluarvot vaihtelevat eri valmistajilla ja tuotteilla 0,032 ja 0,037 W/mK:n välillä
(Isover 2013). Puhallusvillalla lämmönjohtavuus on vielä tätäkin suurempi. Ver-
tailuparista riippuen polyuretaanieriste on kymmeniä prosentteja paremmin
lämpöä eristävä kuin mineraalivilla. Saman verran lämmöneristettä voidaan
ohentaa saavuttaen silti sama U-arvo. Tarvittavan lämmöneristemäärän ero
näkyvät erityisesti yläpohjissa, joissa U-arvovaatimukset ovat tiukat ja tämän joh-
dosta eristettä on paljon.

Tiiviys

Rakenteen lämmöneristyskyvyn lisäksi tiiviys vaikuttaa rakennuksen energian-
kulutukseen. Rakenteen tiiviyttä voidaan kuvata monella eri tavalla. Rakennuk-
sen ilmatiiviyttä voidaan ilmaista ilmavuotoluvun avulla. Rakennusmateriaalien
kosteudenläpäisyominaisuuksista kertoo puolestaan vesihöyrynvastus. Kuvassa
14 on vertailtu eri materiaalien vesihöyrynvastuksia.



Kuva 14. Eri materiaalien vesihöyrynvastuksia (SPU Eristeet 2013i).

Kuvasta voidaan havaita, miten polyuretaanieristeen pintaan liimattava alumiinilaminaatti vaikuttaa vesihöyrynvastukseen. Koska laminaattipintainen eriste itsessään on tiivis, ei rakenteeseen tarvita erillistä höyrynsulkumuovia.

Alumiinipintainen polyuretaanieriste on myös ilmatiivis. Tämän ansiosta rakennuksen ilmanvuotoluku saadaan laskettua pieneksi. Koska kokonaisen levyn ilmatiiviyys on hyvä, tulee levysaumojen ja läpivientien tiiviyyteen kiinnittää huomiota. Levyjen saumat tulee vaahdottaa, ja mikäli tiiviys halutaan varmistaa, voidaan sauman päälle liimata alumiiniteippi. Suurissa tasakatoissa eristelevyn saumojä ei tarvitse vaahdottaa. Mikäli eristelevyjä tulee rakenteeseen useassa kerroksessa, tulee eristelevyjä sovitaa siten, että saumat limittyvät. (SPU Eristeet 2013f, 4.)

Eristeen tiiviyydestä johtuen rakenteiden kuivumisaikoihin tulee kiinnittää huomiota. Esimerkiksi tuoreiden betonirakenteiden kuivuminen hidastuu eristeen asentamisen myötä. Käytännössä betonirakenne pääsee kuivumaan vain eristeettömältä puolelta, mikä voi vaikuttaa rakentamisaikatauluun.

Palonkesto

Polyuretaani on huonosti syttyvä eristemateriaali, ja pinnoittamattomana se kuuluu D-luokkaan. Palaessaan polyuretaani hiiltyy puun tapaan, savuntuotto on vähäistä eikä siitä lennä palavia roiskeita tai kappaleita. Näin paljaan polyuretaanilevyn paloluokka on D-s2, d0. (SPU Eristeet 2013c; SPU Eristeet 2013f.)

Eristelevyn erilaisilla pinnoitteilla on vaikutusta paloluokkaan. Pinnoitteesta riippuen paloluokka vaihtelee B–F. Paloluokka B saavutetaan SPU Anselmilla, jossa on 9 mm:n kipsilevy toiselle puolelle liimattuna. (SPU Eristeet 2013f.)

VTT on myöntänyt sertifikaatin SPU Eristeille ja todennut, että polyuretaanieristettä voidaan käyttää enintään kahdeksankerroksisen P1-luokan rakennuksen ulkoseinissä. Tämän edellytyksenä on, että osastoivan rakenneosan vaatimus osastoivuuden osalta on enintään 60 minuuttia. (VTT sertifikaatti 2011, 3, 5.)

Vuoden 2011 Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E1, Rakennusten paloturvallisuus, määrätään ulkoseinien osalta: ”P1-luokan rakennuksessa tulee ulkoseinässä pääosin käyttää vähintään B-s1, d0-luokan rakennustarvikkeita”. Tästä johtuen ilmaraolisessa ulkoseinärakenteessa tulee tällä hetkellä eristeen pintaan kiinnittää joko A2-s1, d0 tai B-s1, d0-paloluokan eriste tai rakennuslevy (VTT sertifikaatti 2011, 3). Kevään 2013 aikana tähän tilanteeseen on tulossa muutos, sillä SPU on lanseeraamassa palosuoja-pinnoitettuja eristelevyjä, SPU R ja FR, jotka täyttävät rakentamismääräyskokoelman E1-osan vaatimukset (SPU Eristeet 2013a). SPU FR -eristelevy saavuttaa pintalaminaattinsa ansiosta paloluokan B-s1, d0. Tämän vuoksi eristettä voidaan käyttää tuulettuvalla ilmaraolla varustetussa rakenteessa ilman erillistä suojausta.

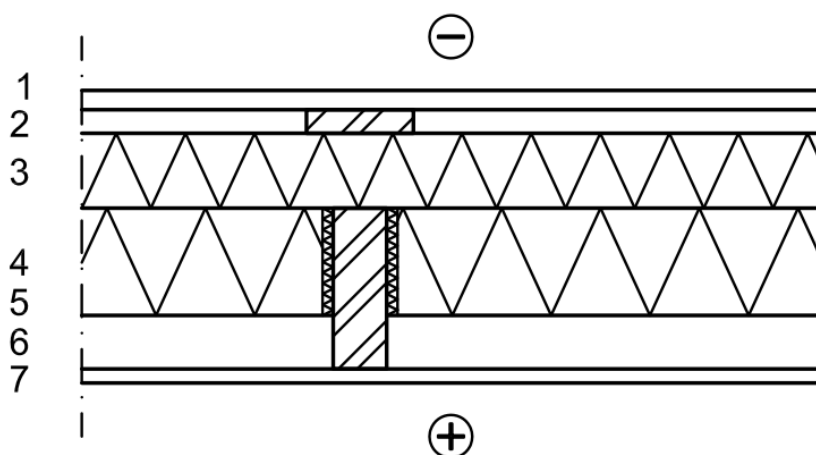
Matkapuhelinkuuluvuus

Matkapuhelinverkon kuuluvuuteen sisätiloissa vaikuttavat muun muassa tukiaseman sijainti, ympäröivät rakennukset ja maastonmuodot sekä nykyisin myös entistä enemmän rakennusmateriaalit. Erilaiset metallipinnoitteella pinnoi-

tetut rakennustuotteet, kuten uudet ikkunat ja alumiinilaminaatilla pinnoitetut eristeet, vaimentavat matkapuhelinsignaalia. Rakennuksissa, joissa lämmöneristemateriaalina käytetään SPU AL -polyuretaanieristettä, suositellaan ulkoseiniin tehtäväksi reitti matkapuhelinsignaalille. Reitti toteutetaan SPU R -eristeellä, joka metallittomana eristeenä ei estä signaalin läpäisyä. (SPU Eristeet 2012a, 2, 9, 10.)

4.3 Kiinnitys

Polyuretaanieriste voidaan kiinnittää rakenteeseen joko mekaanisella kiinnikkeellä, kuten ruuvilla, tai polyuretaanivaahdolla vaahdottamalla. Mainitut kiinnitystavat sopivat erilaisiin kohteisiin ja tapauksiin. Kuvassa 15 esitetään polyuretaanieristelevyn kiinnitys vaahdolla ja mekaanisesti.



Kuva 15. Polyuretaanieristeen kiinnitystavat matalaenergiatasoisessa puurunkoisessa seinässä (SPU Eristeet 2012b).

Vahtokiinnitys

Eristyslevy voidaan kiinnittää rakenteeseen polyuretaanivaahdolla tilanteissa, joissa levy asennetaan rungon väliin. Vaahdotuksen onnistumisen varmistamiseksi levy kannattaa kiinnittää väliaikaisilla mekaanisilla kiinnikkeillä tai asennuspaloilla. Levyjen vahtokiinnitykseen ja levysaumojen tiivistykseen suositel-

laan käytettäväksi 1-komponenttista polyuretaanivaahtoa. (SPU Eristeet 2013d, 1, 2; SPU Eristeet 2013h, 1.)

Mekaaninen kiinnitys

Polyuretaanieriste voidaan asentaa rakenteeseen myös mekaanisesti. Alustava kiinnitys toteutetaan asentamalla kiinnikkeet eristelevyn läpi kantavaan rakenteeseen, esimerkiksi puuhun tai betoniin. Seinärakenteissa lopullinen kiinnitys toteutetaan koolauslaudan avulla. Kiinnikeväli rakenteesta riippuen on 450–600 mm. Kuvassa 15 esitetään eristelevyn kiinnittäminen koolauslaudalla. (SPU Eristeet 2013d, 1, 3.)

Suurissa, loivissa kattopinnoissa, joissa käytetään bitumikermikatetta, kiinnitetään eristelevyt samalla mekaanisella kiinnikkeellä kuin aluskermi. Mikäli eristelevykerroksia on kaksi, kiinnitetään ensimmäinen levykerros yhdellä kiinnikkeellä levyä kohti. Toisen kerroksen ja aluskatteen kiinnitysmäärän määrittää rakennesuunnittelija. (SPU Eristeet 2012c.)

Polyuretaanieriste seinäelementissä

SPU:n polyuretaanieristelevyistä betonielementtirakentamisessa käytetään SPU P-tyypin eristelevyä. Betonisandwich-elementtejä valmistettaessa kuoret voidaan kiinnittää toisiinsa joko diagonaaliensailloilla tai pistokkailla. Kumpaakin ansastyyppeä käytettäessä ulkokuori valetaan ensin. Ansaat ja eristeet laitetaan notkean betonivalun päälle. Diagonaaliensaita käytettäessä voidaan ansaat asettaa valmiiksi ulkokuoren valuun ja tämän jälkeen asettaa eristelevyt ansaiden väliin. Toinen vaihtoehto eristeiden ja ansaiden asentamiseen on järjestyksessä eteneminen. Ensin eristelevy asennetaan muotin reunaa vasten, jonka jälkeen painetaan diagonaaliensas valuun. Tästä jatketaan laittamalla eriste ansasta vasten ja lisäämällä eristeen perään seuraava ansa. Kumpaakin edellä mainittua tapaa käytettäessä tulee ansaan ja eristelevyjen väli vaahdottaa

huolellisesti polyuretaanivaahdolla. Kun saumavaahto on kovettunut riittävästi, voidaan sisäkuori valaa eristeen päälle. (SPU Eristeet 2013b, 1–2.)

Pistokkaita käytettäessä SPU P asennetaan ulkokuorivalun päälle. Kun elementti on eristetty ja eristelevyjen saumat on vaahdotettu tiiviiksi, painetaan pistokkaat eristeen läpi ulkokuorielementtivaluun. Pistokkaiden asentamisen jälkeen sisäkuori voidaan valaa eristeen päälle. (SPU Eristeet 2013b, 1–2.)

5 RAKENNETYYYPIT

A-Insinööreille tehtävään rakennetyyppiohjekansioon valitaan SPU:n kehittämistä rakennetyypeistä A-Insinööreille parhaiten sopivat. Kaikki selkeästi pientaloon tarkoitetut rakenneratkaisut jätetään tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

5.1 Alapohjarakenteet

Kaikki opinnäytetyössä tarkasteltavat alapohjat ovat betonirakenteisia. Kaikkiaan alapohjarakennetyyppejä on neljä, joiden eri variaatioita on 11. Näistä luodaan A-Insinööreille neljä ohjetiedostoa, jotka jakautuvat kahteen ryhmään, ontelolaatalla toteutettuihin tuuletettuihin alapohjiin ja teräsbetonisiin maanvaraisiin alapohjiin. Eristeet ovat joko kantavan rakenteen ala- tai yläpuolella riippuen rakenteen toteutustavasta.

Maanvaraiset alapohjarakenteet

Tässä työssä tarkastellaan kahta maanvaraista alapohjarakennetta. Ensimmäinen on uudiskohteeseen tarkoitettu alapohjarakenne ja toinen olemassa olevaan alapohjaan tehtävä lisäeristämisvaihtoehto.

Maanvaraisissa alapohjarakenteissa eriste on pääsääntöisesti kantavan rakenteen alapuolella. Tämän ratkaisu on todettu hyväksi muun muassa maaperästä nousevan kosteuden kannalta. Vaikka eristeen alapuolella oleva maa-aines olisi kapillaarikatkosoraa tai muuta materiaalia, joka estää kapillaarisen kosteuden nousun, on maaperän ilmahuokosissa suhteellinen kosteus pääsääntöisesti 100 %. Koska SPU:n polyuretaanieristeet ovat erittäin tiiviitä, suojaavat ne hyvin betonirakennetta kosteudelta. (Siikanen 1996, 52; SPU Eristeet 2013i.)

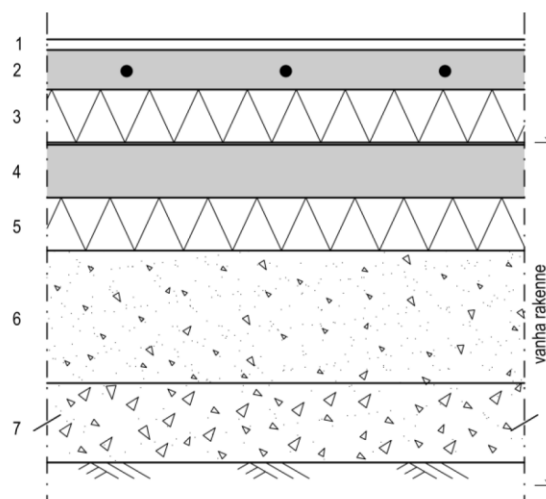
Eristelevyn tiiviyydestä johtuen on rakenteen lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan kannalta tärkeää, että levysaumat vaahdotetaan huolellisesti. Jotta rakenne

pysyisi tiiviinä, ei levyn pinnoissa olevia laminaatteja saa poistaa. (SPU Eristeet 2012b.)

Nykyisten rakentamismääräysten mukainen eristämistaso saavutetaan alapohjissa noin 90 mm:n polyuretaanieristyksellä, joka toteutetaan yhdellä eristelevykerroksella. Mikäli tehdään passiivienergiatasoinen alapohja (U-arvo $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$), tarvitaan siihen 200 mm polyuretaanieristettä. Tämä on toteutettavissa yhdellä tai kahdella levykerroksella. Käytettäessä useaa levykerrosta tulee levysaumot limittää niin, että lämpövuoto saumojen kautta on mahdollisimman vähäistä. (SPU Eristeet 2012b.)

Lisäeristettäessä vanhaa alapohjaa voidaan polyuretaanieriste lisätä vanhan betonirakenteen päälle kuvan 16 osoittamalla tavalla.

1. Pintamateriaali ja käsittely huoneselostuksen mukaan
2. Pintalaatta BY 45, luokka XXX, rauditus YYY, lattialämmitys valmistajan ohjeiden mukaan
3. Lämmöneriste, SPU AL100, saumat vaahdotetaan
4. Vanha betonilaatta 100 mm ja tasoitus
5. Vanha EPS lämmöneriste 100 mm
6. Kapillaarikatkoepeli $\geq 200 \text{ mm}$
7. Soratäyttö ja perusmaa, kallistus salaojiin



U-arvo

$0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ (SPU AL $\lambda_U 0,023 \text{ W/mK}$, EPS $\lambda_U 0,045 \text{ W/mK}$)

Kuva 16. Maanvaraisen alapohjan lisäeristäminen.

Eristeen päälle valetaan uusi betonilaatta, johon voidaan haluttaessa lisätä lattialämmitys, kuten kuvassa 16. Saumojen tiivistämisen ja levyn pintalaminaattien osalta menetellään samalla tavalla kuin uudisrakentamiseen tarkoitetun alapohjarakenteen kanssa.

Tuulettuvat alapohjarakenteet

SPU:lla on kaksi alapohjan rakennetyyppiä, jotka on toteutettu tuulettuvana alapohjana. Eristäminen näiden kohdalla on ensimmäisessä toteutettu ontelolaatan alapuolelle asennettavalla polyuretaanieristyksellä ja toisessa ontelolaatan yläpuolelle tulevalla eristyksellä. Eristeen sijoituksella on merkitystä eristeen kiinnitystavan lisäksi kelluvan pintalaatan alapuolisen eristeen laittamiseen.

Alapuolisella eristyksellä toteutetun ontelolaatta-alapohjan eristyksen kiinnitys toteutetaan mekaanisilla kiinnikkeillä. Kiinnikkeitä mitoittaessa tulee kiinnikkeiden riittävä tartuntasyvyys huomioida. Mikäli alapohjan pintalaatasta halutaan tehdä kelluva, tulee alapuolisella eristyksellä toteutetun alapohjarakenteen ja pintalaatan väliin asentaa irrotuskerros. Tämä kerros voi muodostua joko 30 mm SPU AL -eristelevystä tai umpisolumuovista. (SPU Eristeet 2012b.)

Toinen, nykyään paljon käytössä oleva tapa toteuttaa tuulettuvia alapohjia, on asentaa eristys kantavan alapohjarakenteen ja pintalaatan väliin. Väliin asennettava eriste toimii myös pintalaatan irrotuskerroksena ja samalla säästytään mekaanisten kiinnikkeiden asentamiselta.

Molemmissa toteutustavoissa saumojen tiivistämiseen tulee kiinnittää huomiota. Rakenteen tiiviyyteen vaikuttaa myös se, että levyn pinnassa olevia laminaatteja ei saa poistaa minkään levyn pinnasta. Mikäli polyuretaanilevyjä asennetaan useaan kerrokseen, tulee saumat limittää. Näin vältetään ylimääräisiltä lämpövuodoilta. (SPU Eristeet 2012b.)

5.2 Ulkoseinärakenteet

Tämän työn osaksi tehtävään ohjekansioon valittiin kaikkiaan kahdeksan erilaista ulkoseinärakennetta. Seinärakennetyypit jakautuvat seuraavasti: rakennetyypeistä neljä on betonirunkoisia, kolme puurunkoisia ja yksi teräsrankainen.

Betonirunkoiset ulkoseinärakenteet

Työssä käsiteltävät betonirunkoiset ulkoseinät voidaan jakaa betonisandwich-elementteihin, joissa eriste on kahden betonikuoren välissä, ja betonirunkoihin, joissa eriste on betonirungon ulkopuolella. Jälkimmäisessä ratkaisussa ei ole betonista ulkokuorta, vaan julkisivu toteutetaan esimerkiksi rappauksella. Kumpaankin rakenneratkaisuun perustuvia betonirakenteisia ulkoseinätyyppejä ohjekansiossa on kaksi kappaletta.

Edellä mainitut ulkoseinätyypit voidaan toteuttaa tuulettuvana tai tuulettumattomana rakenteena. Tuulettuvan rakenteen etuna on, että mikäli pintarakenteen tai huonosti tehdyn sauman tai läpiviennin kautta joutuu kosteutta eristelevyn pinnalle, pääsee se haihtumaan sieltä pois. Samalla ilmapäli toimii kuitenkin mahdollisena paloreittinä, mikä tulee huomioida suunnittelussa. VTT on myöntänyt SPU:lle sertifikaatin, jossa se toteaa SPU:n polyuretaanieristeen soveltuvan käytettäväksi enintään kahdeksankerroksisissa P1-luokan rakennuksissa ulkoseinäeristeinä. Käytön edellytyksenä on, että ilmapäliillä toteutetussa rakenteessa polyuretaanieristeen päälle laitetaan 30 minuuttia palolta suojaava pintamateriaali. Tämä pintamateriaali voi olla mineraalivillaa tai esimerkiksi riittävän suojauskyvyn omaava rakennuslevy. (VTT sertifikaatti 2011, 5, 7.) Kevään 2013 aikana markkinoille tulevien palosuojattujen polyuretaanieristeiden SPU R:n ja SPU FR:n myötä tuuletusväliillä toteutettujen betonirakenteiden eristeiden palosuojaukselta vältytään.

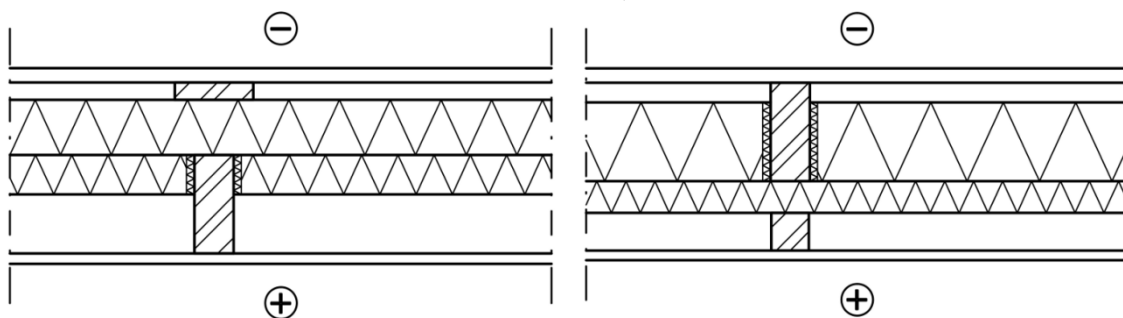
Massiivisina rakenteina betonirakenteiset seinät eristävät ääntä hyvin. Betoniseinien kohdalla ääneneristävyys paranee selkeästi betonimäärän kasvaessa. Esimerkiksi betonisandwich-elementti on noin 7 dB paremmin ääntä eristävä kuin vastaavalla eristepaksuudella varustettu yksinkertainen betonirunko. Ääneneristävyyteen vaikuttaa massan lisäämisen lisäksi se, että betonisandwich-elementissä kuoret ovat irti toisistaan ja ääni vaimenee myös kuorien välissä. (SPU Eristeet 2012b.)

Betonirakenteissa lämmöneristettä on jonkin verran puurunkoista ulkoseinärakennetta enemmän. Tämä johtuu ansaiden aiheuttamasta suuremmasta kylmä-siltamäärästä, jota tulee kompensoida suuremmalla eristepaksuudella.

Puurunkoiset ulkoseinärakenteet

Tähän työhön valikoidut puurunkoiset ulkoseinärakenteet on valikoitu sillä ajatuksella, että niitä voidaan käyttää pientalojen lisäksi esimerkiksi puurunkoisissa päiväkodeissa tai rivitaloissa. Puurunkoisia ulkoseinärakenteita on kolme, jokaisesta kolme energiatehokkuustasoa. Valituista rakennetyypeistä kaksi edustaa tavanomaista polyuretaanieristeillä toteutettavaa lämmöneristämistapaa ja yksi höyrynsulkuratkaisua.

Normaalissa lämmöneristysratkaisussa rakennuksen runko voi olla kuvan 17 tapaan joko yhtenäisen lämmöneristystyksen ulko- tai sisäpuolella. Näistä tyypillisempi rungon sijoituspaikka on kuvan vasemmanpuoleinen rakenneratkaisu, jossa runko on yhtenäisen lämmöneristelevyn sisäpuolella.



Kuva 17. Rakennuksen kantavan puurungon sijainnin vaihtoehdot lämmöneristykseen nähden (SPU Eristeet 2012b).

Rungon ollessa rakenteen lämpimämmällä puolella ei ilmassa oleva kosteus tiivistymään siihen niin helposti. Lisäksi yhtenäinen tiivis eristelevykerros suojaa runkopuuta mahdollisesti rakennuksen ulkopuolelta tuuletusväliin joutuvalta kosteudelta. Polyuretaanieristelevyn erinomaisen tiiviyn ansiosta rakenteessa ei tarvita erillistä höyrynsulkumuovia rakenteen lämpimälle puolelle ja tuulen-suojalevyä rakenteen ulkopintaan. (SPU Eristeet 2012b; SPU Eristeet 2013i.)

Ääneneristävyys kuvan 17 seinärakenteilla on noin 30 dB:n luokkaa, vasemmanpuoleisen ollessa hieman paremmin ääntä eristävä. Ääneneristystä voidaan kummankin rakenteen kohdalla parantaa sijoittamalla sisäverhouslevyn takana olevaan asennustilaan mineraalivillaa ja käyttämällä kaksinkertaista sisäverhouslevytystä. Tällaisella ratkaisulla saavutetaan noin 10 dB:n parannus. (SPU Eristeet 2012b.)

SPU on kehittänyt eristeillään höyrynsulkuratkaisun, jossa lämmöneristäminen toteutetaan mineraalivillalla ja höyrynsulkumuovin korvaa samalla lisäeristystä antava polyuretaanieristelevy. Kahdesta edellisestä toteutustavasta poiketen tässä rakennetyypissä tulee mineraalivillan ulkopinnassa olla tuulensuojalevy. Tuulensuojalevy estää ulkoilman takana olevassa ilmapölyssä liikkuvan ilman aiheuttaman lämmöneristeen eristystehon heikkenemisen ja mahdollisesti pisaroituvan kosteuden imeytymisen mineraalivillan (Knauf 2013).

Höyrynsulkuratkaisussa saumojen tiiviyyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Tästä johtuen ne suositellaan teipattavaksi tiiviyyden varmistamiseksi. Samoin erilaisten läpivientien tiiviys tulee varmistaa. (SPU Eristeet 2013f.)

Teräsrakenne ulkoseinärakenne

A-Insinöörien ohjekansioon liitetään ohje teräsrakenne ulkoseinärakenteesta. Teräsrakenne ulkoseinärakenne on passiivienergiatasoinen pientaloihin suunniteltu elementtiratkaisu, joka toimii yksi- ja kaksikerroksisissa pientaloissa kantavana ulkoseinänä. Sitä voidaan käyttää myös kantamattomana julkisivuna esimerkiksi toimitilarakentamisessa. Teräsrakenne ulkoseinäelementti on Antti Viitasen SPU:lle Tampereen teknillisessä yliopistossa diplomityönä suunnittelema ulkoseinärakenne.

5.3 Yläpohjarakenteet

Ohjekansioon liitettäviä betonisia yläpohjarakennetyyppejä tulee neljä kappaletta. Tämän lisäksi tulee 14 betonirakenteisiin yläpohjiin keskittyvää rakennede-

taljia. Betonirakenteiset yläpohjat koostuvat ontelo- tai paikalla valetulla laattalla ja TT-laattalla toteutettavista yläpohjista. Tässä luvussa kaikki betonirakenteiset yläpohjarakenteet niputetaan yhteen kategoriaan ja käsitellään yhtenä ryhmänä. Edellä mainittujen lisäksi ohjekansioon liitetään kolme puurakenteista ja yksi kantavalla teräspoimulevyllä toteutettu rakennetyyppi. Näihin liittyy 13 rakennedetaljia. Liitteessä 3 on esimerkki betonirakenteisesta yläpohjarakennetyypistä.

Tässä käsiteltävät yläpohja-asiat koskevat pääasiassa loivia tai tasakattoja. Nämä kattotyypit ovat tyypillisiä kattoratkaisuja muun muassa liikekeskuksissa ja erilaisissa hallirakennuksissa.

Betonirakenteiset yläpohjarakenteet

Betonirakenteisia yläpohjarakenteita suunniteltaessa tulee huomioida riittävän lämmöneristämiskyvyn lisäksi kosteuden hallinta. Varsinkin elementtilaattalla, ontelo- tai TT-laattalla toteutettavan yläpohjarakenteen elementtien saumakohtiin ja niiden tiiviyyteen on kiinnitettävä suunnittelussa huomiota. Saumakohdat saattavat hammastaa, minkä seurauksena yläpuoliset rakenteet voivat jäädä irti kantavasta rakenteesta. Tästä voi seurata yläpohjarakenteesta riippuen lämpövuotoja ja kosteuden kulkeutumista yläpohjaan. (SPU Eristeet 2012c.)

Yläpohjassa suunnittelun kannalta ongelmia voivat aiheuttaa myös elementtien pitkäaikaisesta virumasta ja lämpöliikkeistä johtuva eläminen. Eläminen saattaa avata elementtisaumoja ja mahdollisesti repiä kantavaa rakennetta vasten olevan vedeneristekerman tai höyrynsulun rikki. Varsinkin käännytyissä katoissa, joissa bitumikermi on suoraan kantavan rakenteen päällä, asiaan tulee kiinnittää suunnittelussa huomiota. (SPU Eristeet 2012c.)

Eristelevyjen asennuksessa on huomioitava, että levyt asettuvat tiiviisti ponttiin. Tämä on erityisen tärkeää suurilla kattopinnoilla, joissa levyjen saumoja ei vaahdoteta. Mikäli yläpohjan eristäminen tapahtuu useaa polyuretaanieristelevykerrosta käyttäen, tulee levysaumat limittää. Näin pienennetään saumojen kautta aiheutuvaa lämpövuotoa. (SPU Eristeet 2012c.)

Käytettäessä polyuretaanieristeitä kattorakenteen eristämiseen suurissa kattopinnoissa, täytyy katto jakaa palokatkoilla enintään 2 400 m²:n kokoiisiin palo-osastoihin. Palo-osastointivaatimus koskee kaikkia suuria kattoja, joissa katteen alusta on luokkaa A2-s1, d0 huonompi. Kattorakenteen palokatko voi olla joko pysty- tai vaakasuuntainen palokatko, ja se tulee toteuttaa pääasiassa A2-s1, d0 -luokan rakennusmateriaaleista. (VTT tutkimusraportti 2012, 6.)

Kattorakenteen läpi kulkevat läpiviennit tulee eristää ja suojata kosteuden ja lämmön karkaamisen lisäksi palolta. Käytännössä tämä tarkoittaa läpivientiputken, esimerkiksi kattokaivon, ympärillä käytettävää A2-s1, d0 -luokan mineraalivillaa. Samalla mineraalivilla toimii läpiviennin lämmöneristeenä. (VTT tutkimusraportti 2012, 5, 6; SPU Eristeet 2012c.)

Loivissa yläpohjissa eristelevyt kiinnitetään kantavaan kattorakenteeseen mekaanisin kiinnikkein. Mikäli eristelevykerroksia on kaksi, kiinnitetään ensimmäinen levykerros yhdellä kiinnikkeellä ja toinen levykerros rakennesuunnittelijan määrittelemällä kiinnikemäärällä ensimmäisen levyn läpi kantavaan alustaan. Käytettäessä kaksi- tai useampikerroksista vedeneristyskermiä, voidaan aluskermi kiinnittää alustaan samoilla mekaanisilla kiinnikkeillä kuin polyuretaanilevyt. Pintakermi kiinnitetään kermivalmistajan ohjeita noudattaen joko kauttaaltaan hitsaten tai liimaten. (SPU Eristeet 2012c.)

Puu- ja teräspoimulevyrakenteiset yläpohjarakenteet

Loiviin tai tasaisiin puu- ja teräspoimulevyrakenteisiin kattoihin pätee samat palo-, eristävyys-, tiivistys- ja kiinnitysohjeet kuin betonirakenteisiin kattoihin. Suurille kattopinnoille vaaditaan pysty tai vaakasuuntaiset palokatkot ja läpivienteihin palosuojausvilla. Betonirakenteista poiketen myös lämmöneristeen alapinta tulee suojata palonsuojauskerroksella. Palonsuojauskerros voi olla joko palonsuojakipsilevy tai kahden normaalin kipsilevyn välissä oleva mineraalivilla rakenneratkaisusta ja vaaditusta paloluokasta riippuen. (VTT tutkimusraportti 2012, 5, 6; SPU Eristeet 2012c.)

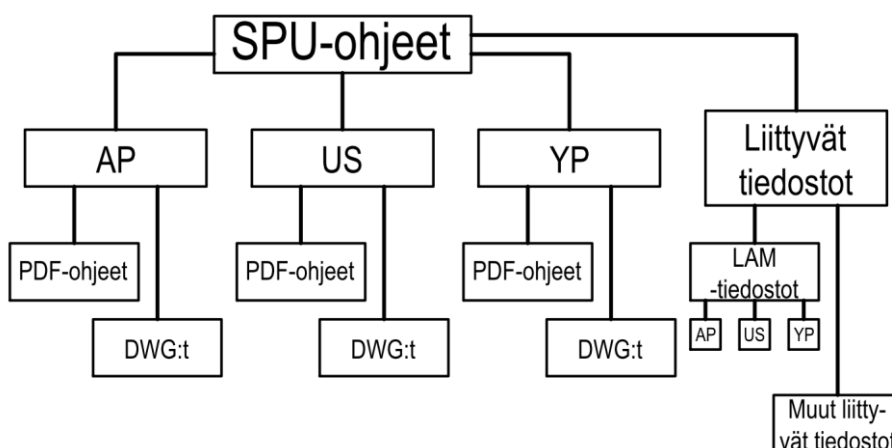
Kohtuullisten jännevälien puurakenteiset yläpohjat voidaan puurunkoisten ulkoseinien tapaan toteuttaa pelkästään polyuretaanieristyksellä tai mineraalivillan ja PUR/PIR-eristeen yhdistävänä höyrynsulkuratkaisuna. Pelkällä polyuretaanilla eristettävässä yläpohjassa lämmöneriste voi olla joko pelkästään kattokannattajien välissä tai osin kattokannattajien ylä- tai alapuolella.

Kattokannattajien välissä olevat eristelevyt liimataan kattokannattajiin polyuretaanimassalla. Mikäli kattokannattajan välissä oleva eristyskerros koostuu kahdesta eri polyuretaanilevystä, tulee levysaumat limittää. Tämä vähentää saumojen kautta tapahtuvaa lämpövuotoa. Kattokannattajan ylä- tai alapuolelle asennettava eristelevykerros kiinnitetään kattokannattajiin mekaanisesti. Puurunkoisissa katoissa polyuretaanieristelevyjen saumat vaahdotetaan. Tällä varmistetaan rakenteen tiiviys ja ilmanpitävyys.

5.4 Sähköinen rakennetyyppiohjekansio

Opinnäytetyön yhteydessä luodaan A-Insinööreille rakennetyyppi ja -detaljikansio, johon kootaan SPU:n eristeratkaisuja. Tiedostoihin liitetään kansilehtenä toimivan rakennetyypin lisäksi tietoa vaihtoehtoisista toteutustavoista ja kerätään huomioita, jotka liittyvät kyseiseen rakennetyyppiin.

Rakenneohjeet kerätään kuvan 18 mukaiseen kansiohierarkiaan. Pääkansiossa on lyhyt ohjeistus rakenneohjeiden käytöstä ja sisällöstä sekä rakennetyyppikuvista koostuva sisällysluettelo, jonka avulla pääsee navigoimaan erilaisia rakennetyyppejä. Pdf-muotoiset ohjeet linkittyvät dwg-tiedostojen kanssa siten, että ohjeen linkkiä klikkaamalla avautuu dwg-tiedosto.



Kuva 18. Rakennetyyppiohjekansion kansiohierarkia.

Kaikkiaan A-Insinööreille luodaan 21 pdf-muotoista rakennetyyppiohjetiedostoa ja 27 rakennedetaljia. Tämän opinnäytetyön liitteeksi liitetään kolme rakennetyyppiohjetta esimerkiksi ohjekansion tiedostoista.

Jokainen rakennetyyppiohje muodostuu vähintään kahdesta sivusta. Ohjeen kansisivuna toimii kyseisen rakennetyypin nykyiset energiavaatimukset täyttävä ratkaisu. Ohjetiedoston lisäsivuilla esitetään vaihtoehtoisia lisäeristämiskäytännöitä. Näitä ovat rakennetyypistä riippuen joko vain matalaenergiataso tai vaihtoehtoisesti sekä matala- että passiivienergiatasot. Lisätietosivuilla kiinnitetään huomiota polyuretaanieristeiden vaahdotukseen, kiinnitykseen ja levypaksuuksiin. Ulkoseinissä on edellä mainittujen lisäksi kerrottu myös rakenteen ääneneristävyydestä ja mahdollisesti ratkaisuista, joilla ääneneristävyyttä voidaan parantaa.

Jokaisen ohjeen lopussa on Liittyvät tiedostot ja julkaisut -otsikko, jonka alle on kerätty kyseiseen rakenteeseen liittyvät tiedostot. Tiedostoon liitetään suorat linkit rakennetyypin dwg- ja pdf-tiedostoihin sekä DOFLÄMPÖ-ohjelman käyttämään rakenteen kosteus- ja lämpökäyttämisen sisältäviin lam-tiedostoihin. Yläpohjarakenteissa linkataan esimerkiksi suoraan Kattoliitto Ry:n tekemään Toimivat katot -julkaisuun. Näin rakennesuunnittelijoilla on mahdollisuus katsoa lisätietoja kyseiseen kohteeseen liittyen.

6 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön aiheena oli laatia A-Insinöörit-konsernille sähköinen käyttöohjekansio SPU:n polyuretaanista valmistamille rakennuseristeille. Ennen työn aloittamista keskusteltiin erilaisista toteutusvaihtoehdoista ja työn sisällöstä. Työn edetessä osa suunnitelmista, kuten rakennusvalvonnan kommenttien pyytäminen, päätettiin jättää työn ulkopuolelle. Samassa yhteydessä myös aineistorajausta tiukennettiin paremmin A-Insinöörien toimenkuvaa vastaavaksi.

Työn pohjana olivat SPU:n luomat rakennetyypit ja -detaljit, joita päivitettiin vastaamaan paremmin A-Insinöörien tarpeita. Jokaiseen valittuun rakennetyyppiin liitettiin sivuja, joissa esitetään lisätietoja ja huomioita kyseisen rakennetyypin suunnittelusta. Samassa yhteydessä on linkkejä muihin, kyseiseen rakennetyyppiin liittyviin tiedostoihin.

Ohjetiedostoja laadittaessa tutustuttiin SPU:n valmiiseen rakennekirjastoon ja heidän luomiinsa suunnitteluohjeisiin. SPU on teettänyt VTT:llä tutkimuksia eristeratkaisuista ja niiden soveltuvuudesta erilaisissa kohteissa. Tämän lisäksi työtä tehdessä tuli tutuiksi rakentamismääräyskokoelmien eri osien määräykset ja ohjeet. Työn 2. lukuun, Rakennusfysikaaliset ominaisuudet, eri lähteistä hankittu tieto auttoi ymmärtämään ja syventämään pohjatietoa rakennusfysiikan eri aiheista.

Ohjetiedostoja laadittiin kaikkiaan 48 kappaletta. Nämä muodostuivat 21 rakennetyypistä ja 27:sta yläpohjaa koskevasta rakennedetaljista. Ohjetiedostokansio jaettiin kolmeen eri osa-alueeseen: alapohjiin, ulkoseiniin ja yläpohjiin. Näin kulloinkin tarvittava rakennetyyppi on helpompi löytää.

Sähköisen rakennetyyppiohjekansion käyttökelpoisuuteen kiinnitettiin huomiota heti alusta saakka. Tiedon on tarkoitus olla helposti löydettävissä ja käytettävissä. Ohjekansio tulee saataville A-Insinöörien intraverkkoon, jossa sitä päivitetään. Kansion juurihakemistoon luotiin pdf-muotoinen rakennetyyppi- ja -detaljitaulukko, jossa on lueteltu kaikki rakennetyypit ja detaljit. Näin haluttuun rakennetyyppiin on helppo ja nopea päästä.

Rakenneohjekansiota tullaan ylläpitämään ja jatkokehittämään A-Insinööreillä. Rakennetyyppeihin lisätään vähitellen tietoa ja viitteitä muihin tiedostoihin. Rakennetyyppejä ja -detaljeja tullaan lisäämään sitä mukaa, kun tarvetta kyseisille rakenteille ilmenee. Rakennetyyppikansion ylläpidossa auttaa muutosloki, johon kirjataan muuttuneet ja lisätyt tiedostot.

LÄHTEET

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. 2. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Huttula, T. 2013. Hydrologia. L7. Maavedet. Viitattu 26.1.2013
http://users.jyu.fi/~thuttula/WETA150/WETA150_7.pdf.

Isover 2013. Kevyet rakennuseristeet: mineraalivillaeisteet. Viitattu 22.4.2013
<http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/kevyet-rakennuseristeet>.

Keski-Suomen Energiatoimisto 2011. Rakentamisen energiamääräykset 2012. Keskeiset muutokset ja kustannusvaikutukset. Viitattu 13.1.2013
<http://www.kesto.fi/GetItem.asp?item=file;5434>.

Knauf 2013. Tuulensuojakipsilevy KXT 9. Viitattu 13.4.2013
<http://www.knauf.fi/tuotteet/knauf-rakennuslevyt/kipsilevyt/tuulensuojakipsilevy-kxt-9>.

Kurnitski, J. 2012. Energiamääräykset 2012. Opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Kylliäinen, M. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tutkimusraportti 137. Rakennustekniikan laitos. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Leivo, V. 1998. Opas kosteusongelmiin. Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Julkaisu 95. Rakennustekniikka. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Palovara 2013. Tulipalosimulaatiot. Viitattu 8.2.2013
<http://palovara.pelastustoimi.net/tulipalosimulaatiot.htm>.

PU-eristeet 2013. Mitä polyuretaani on? Viitattu 18.2.2013
<http://www.pueristeet.fi/pu-eristeet/mita-polyuretaani-on/>.

PU Nordic 2013. Mitä polyuretaani on? Viitattu 18.2.2013
<http://www.pu-nordic.fi/tietopankki/mita-polyuretaani-on>.

Rafnet 2004. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. Kosteus. Luonnosversio 27.9.2004. Viitattu 19.1.2013
http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus_27092004.pdf.

RT 05-10710. Kosteus rakennuksissa. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 07-10564. Rakennuksen sisäilmasto. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Seppänen, R.; Tiuhonen, S.; Wuolijoki, H.; Kervinen, M.; Smolander, M.; Haavisto, A.; Karkela, L. & Varho, K. 1991. MAOL-taulukot. 5. uudistettu painos. Helsinki: Otava.

SFS-EN ISO 6946. Rakenne- ja rakennusosat. Lämmönvastus ja Lämmönläpäisykerroin. Laskentamenetelmä. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS ry.

Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

SPU Eristeet 2012a. Kännykkäkuuluvuuden varmistava ratkaisu. Suunnitteluohje.04.10.2012 Viitattu 21.4.2013
http://www.spu.fi/files/spu/Ohjeet/Kannykkakuuluvuuden_varmistava_ratkaisu_-_suunnitteluohje.pdf.

SPU Eristeet 2012b. SPU Detaljikirjasto. Viitattu 13.4.2013
<http://www.spu.fi/detaljikirjasto>.

SPU Eristeet 2012c. SPU Kattosuunnitteluohje. Viitattu 14.4.2013
http://www.spu.fi/files/spu/Ohjeet/SPU_Kattosuunnitteluohje.pdf.

SPU Eristeet 2013a. B-s1, d0 -paloluokan polyuretaanilevy - SPU FR. Viitattu 19.2.2013
http://www.spu.fi/spu_fr.

SPU Eristeet 2013b. Betonielementtien valmistaminen. 104. Viitattu 19.2.2013
http://www.spu.fi/files/spu/Ohjekortit/SPU_104_Betoniohjekortti.pdf.

SPU Eristeet 2013c. Paloturvallisuus. Viitattu 19.2.2013
http://www.spu.fi/eristeet_paloturvallisuus.

SPU Eristeet 2013d. SPU Eristeiden kiinnittäminen. 105. Viitattu 19.2.2013
http://www.spu.fi/files/spu/Ohjekortit/SPU_105_Kiinnitysohje.pdf.

SPU Eristeet 2013e. SPU Eristeiden tekniset ominaisuudet. Viitattu 18.2.2013
http://www.spu.fi/eristeet_tutkitusti_turvallinen.

SPU Eristeet 2013f. SPU höyrynsulkurakenne. 106. Viitattu 18.2.2013
http://www.spu.fi/files/spu/Ohjekortit/SPU_HSohjekortti.pdf.

SPU Eristeet 2013g. Tuotteet. Viitattu 18.2.2013
http://www.spu.fi/eristeet_tuotteet.

SPU Eristeet 2013h. Vaahdotusohje. 101. Viitattu 19.2.2013
http://www.spu.fi/files/spu/Ohjekortit/SPU_vaahdotusohje.pdf.

SPU Eristeet 2013i. Vesihöyrynvastus. Viitattu 18.2.2013
<http://www.spu.fi/vesihoyryn-vastus-ilmanpitavyys-radonsuo>.

Tiivistalo 2013a. Tiivistalowiki. Diffuusio. Viitattu 3.2.2013
<http://www.tiivistalo.fi/tiedostot/default.asp?sivu=tiivistalowiki>.

Tiivistalo 2013b. Tiivistalowiki. Konvektio. Viitattu 3.2.2013
<http://www.tiivistalo.fi/tiedostot/default.asp?sivu=tiivistalowiki>.

Vinha, J.; Valovirta, I.; Korpi, M.; Mikkilä, A. & Käkelä, P. 2005. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

VTT sertifikaatti 2011. NRO VTT-C-6665-11. Myönnetty 10.3.2011. Päivitetty 4.5.2011. Viitattu 6.4.2013
http://www.spu.fi/files/spu/pdf/VTT_Sertifikaatti_2011-P1_luokan_rakennukset-SPU_Eristeet_paiv._2011-5-4.pdf.

VTT tutkimusraportti 2012. VTT-R-08652-12. SPU Eristeen paloturvallinen käyttö kattorakenteissa. Viitattu 14.4.2013
http://www.spu.fi/files/spu/Ohjeet/VTT-R-08652-12_SPU_Eristeen_paloturvallinen_kaytto_kattorakenteissa.pdf.

Wikikirjasto 2012. Fysiikan oppikirja/Lämpö. Viitattu 11.1.2013
http://fi.wikibooks.org/wiki/Fysiikan_oppikirja/Lämpö.

Ympäristöministeriö 2013a. Laki rakennuksen energiatodistuksesta 27.2.2013: Usein kysytyjä kysymyksiä & vastauksia. Viitattu 19.3.2013
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=142229&lan=fi>.

Ympäristöministeriö 2013b. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Viitattu 19.3.2013
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=142229&lan=fi>.

Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma C1 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Määräykset ja ohjeet 1998. Helsinki: Ympäristöministeriö.


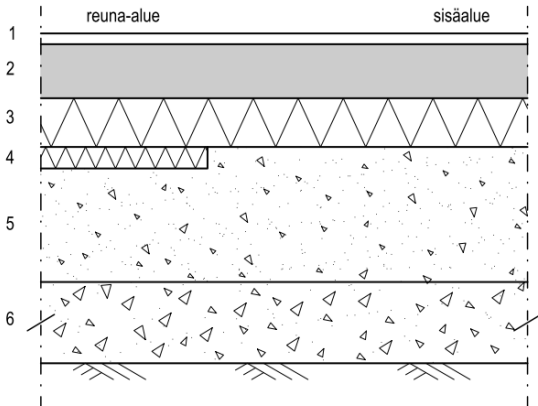
Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012a. Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 Lämmöneristys. Ohjeet 2012. Luonnos 16. maaliskuuta 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012b. Suomen rakentamismääräyskokoelma. D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012c. Suomen rakentamismääräyskokoelma. D3 Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma. E1 Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö.

SPU AL -eristeinen maanvarainen alapohjarakenne

PROJEKTI	SPU AL -eristeinen alapohjarakenne Maanvarainen alapohja, normitaso 2010	1:10
	Päiväys	AP 2.1.0
		
1 2 3 4 5 6	1 Pintamateriaali ja käsittely huoneselostuksen mukaan 2 Kantava rakenne, paikalla valettu teräsbetoni laatta rakennepiirustusten mukaan 3 Lämmöneriste SPU AL koko alapohjan alueelle, saumat vaahdotetaan 4 Lämmöneriste SPU AL reuna-alueelle, vähintään metrin levyisenä kaistana 5 Kapillaarikatkoksepi, salaoja- ja mahdollinen radonputkisto erikoissuunnitelmien mukaan 6 Soratäyttö ja perusmaa, kallistus salaojiin	90 mm 40 mm ≥ 200 mm
U-arvo: 0,16 W/m ² K (SPU AL λ_D 0,023 W/mK)		
SPU AL eristelevyistä ei tule poistaa laminaattia levyn kummaltakaan puolelta. Kahden SPU AL eristelevyn väliin jääviä laminaatteja ei tule myöskään poistaa.		
Reuna-alueen ohuempi SPU AL eristekerros asennetaan kapillaarikatkokerroksen päälle vähintään yhden metrin levyisenä kaistana, jonka jälkeen sisäalueen kapillaarikatkokeros tasataan reuna-alueen SPU AL 40 eristekerroksen yläpinnan tasalle. Paksumpi SPU AL eristekerros asennetaan yhtenäisenä koko alapohjan alueelle, jolloin rauditus- ja valutöille saadaan yhtenäinen tukeva alusta.		
Paksumman SPU AL eristekerroksen levyjen saumat vaahdotetaan.		
SPU AL eristeen ja betonivalun välissä voidaan käyttää tarvittaessa valusuojakangasta.		



SPU AL -eristeinen alapohjarakenne
Maanvarainen alapohja

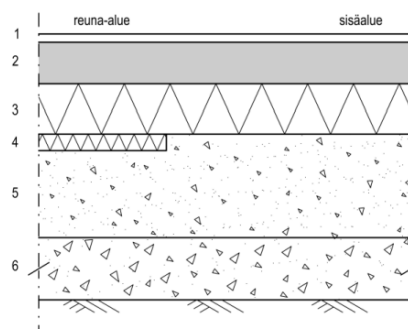
AP 2.1.0, AP 2.1.1 ja AP 2.1.2

Lisäeristämisvaihtoehdot

Matalaenergiataso

rakennetyyppi AP 2.1.1

1. Pintamateriaali ja käsittely huoneselostuksen mukaan
2. Kantava rakenne, paikalla valettu teräsbetonilaatta rakennepiirustusten mukaan
3. Lämmöneriste, SPU AL 120 koko alapohjan alueelle, saumat vaahdotetaan
4. Lämmöneriste, SPU AL 40 reuna-alueelle, vähintään metrin levyisenä kaistana
5. Kapillaarikatkosepeli ≥ 200 mm, salaoja- ja mahdollinen radonputkisto erikoissuunnitelmien mukaan
6. Soratäyttö ja perusmaa, kallistus salaojiin



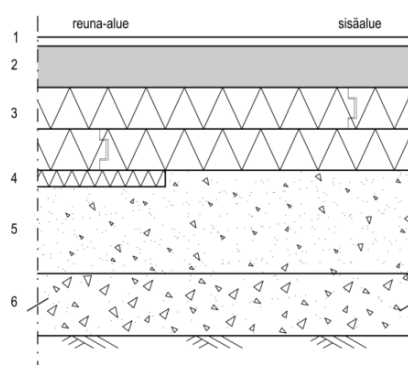
U-arvo

0,13 W/m²K (SPU AL λ_D 0,023 W/mK)

Passiivienergiataso

rakennetyyppi AP 2.1.2

1. Pintamateriaali ja käsittely huoneselostuksen mukaan
2. Kantava rakenne, paikalla valettu teräsbetonilaatta rakennepiirustusten mukaan
3. Lämmöneriste, SPU AL 100 + 100 koko alapohjan alueelle, saumat vaahdotetaan, saumat limittäin
4. Lämmöneriste, SPU AL 40 reuna-alueelle, vähintään metrin levyisenä kaistana
5. Kapillaarikatkosepeli ≥ 200 mm, salaoja- ja mahdollinen radonputkisto erikoissuunnitelmien mukaan
6. Soratäyttö ja perusmaa, kallistus salaojiin



U-arvo

0,09 W/m²K (SPU AL λ_D 0,023 W/mK)

Paksumpi SPU AL eristekerros asennetaan kahdella SPU AL 100 mm eristelevykerroksella saumat limittäin tai yhdellä SPU AL 200 mm eristelevykerroksella koko alapohjan alueelle, jolloin raudoitus- ja valutöille saadaan yhtenäinen tukeva alusta.

Huomioitavaa

- Saumat vaahdotetaan [SPU Vaahdotusohjeen \[Nro 101\]](#) mukaan.
- Eristeen ollessa useassa kerroksessa, saumat tulee limittää.
- Minkään levyn laminaatteja ei tule poistaa.
- Rakennetyypissä käytetty ensisijaisesti varastopaksuuksia.
 - SPU AL varastopaksuudet: 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150, 160, ja 170 mm.



SPU AL -eristeinen alapohjarakenne
Maanvarainen alapohja

AP 2.1.0, AP 2.1.1 ja AP 2.1.2

Lämmönläpäisykertoimet (AP 2.1)


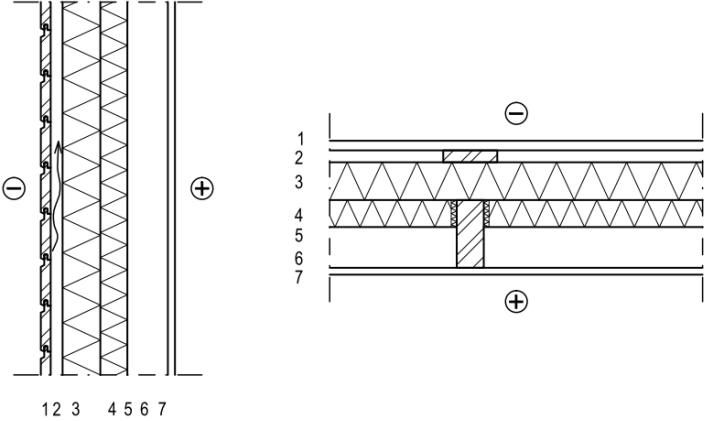
Detaljin tunnus	Eristepaksuudet	U-arvo (reuna/sisä)
AP 2.1.0	SPU AL 90 + 40 / SPU AL 90	0,16 / 0,16 W/m ² K
AP 2.1.1	SPU AL 120 + 40 / SPU AL 120	0,13 / 0,13 W/m ² K
AP 2.1.2	SPU AL 100 + 100 + 40 / SPU AL 100 + 100 (vaihtoehtoisesti SPU AL 200 + 40 / SPU AL 200)	0,09 / 0,09 W/m ² K

U-arvot on laskettu ISO 6946:2007 mukaan. U-arvossa on otettu huomioon lämmönestekerroksen lisäksi teräsbetoni (λ 1,7 W/mK). Sisäpuolisena pintavastuksena on käytetty 0,17 m²K/W. Ulkopuolisena pintavastuksena on käytetty reuna-alueella 0,50 m²K/W ja sisäalueella 2,00 m²K/W.

Liittyvät tiedostot ja julkaisut

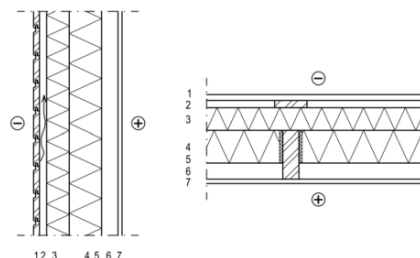
- Kaikki betoni- ja ontelolaattarakenteiset alapohjat [dwg-muodossa](#).
- Kaikki betoni- ja ontelolaattarakenteiset alapohjat [pdf-muodossa](#).
- [SPU:n materiaalikirjasto](#) Dof-Lämpö-ohjelmaan.
- AP 2.1.0 LAM-tiedostot:
 - [Reuna-alue](#)
 - [Sisäalue](#)
- AP 2.1.1 LAM-tiedostot:
 - [Reuna-alue](#)
 - [Sisäalue](#)
- AP 2.1.2 LAM-tiedostot:
 - [Reuna-alue](#)
 - [Sisäalue](#)

SPU AL -eristeinen puurunkoinen ulkoseinärakenne

PROJEKTI	SPU AL -eristeinen ulkoseinärakenne Puurunko, normitaso 2010	1:10
	Päiväys	US 1.1.0
		
mm	1	Ulkoverhous, pintamateriaali- ja käsittely rakennusllestuksen mukaan
22 mm	2	Ilmaväli, pystykoolaus 22x100 mm, kiinnitys kantavaan runkoon
70 mm	3	Lämmöneriste, SPU AL, saumat vaahdotetaan
50 mm	4	Lämmöneriste, SPU AL runkolevy, vaahdotus runkoon
mm	5	Pystyrunko, runkotolpat k600
mm	6	Asennustila
mm	7	Sisäverhouslevy, pintamateriaali- ja käsittely rakennusllestuksen mukaan
U-arvo 0,17 W/m²K (SPU AL λ_D 0,023 W/mK)		
Ilmaääneneristävyys		
R_w	≥ 32 dB	(~43 dB mineraalivilla + lisäkipsilevy)
$R_w + C$	≥ 30 dB (lentomelua vastaan)	(~42 dB mineraalivilla + lisäkipsilevy)
$R_w + C_{tr}$	≥ 28 dB (liikennemelua vastaan)	(~38 dB mineraalivilla + lisäkipsilevy)
SPU AL -eristelevyistä ei tule poistaa laminaattia levyn kummaltakaan puolelta. Kahden SPU AL -eristelevyn väliin jääviä laminaatteja ei tule myöskään poistaa.		
SPU Eristeiden asennus tehdään SPU vaahdotusohjeen [nro 101] ja SPU Eristeiden kiinnitysohjeen [nro 105] mukaan. Yhtenäinen SPU AL eristekerros ja tuuletusvälin koolaus kiinnitetään kantavaan runkoon pitkällä mekaanisilla kiinnikkeillä.		

Lisäeristämismuutokset**Matalaenergiataso****rakennetyyppi US 1.1.1**

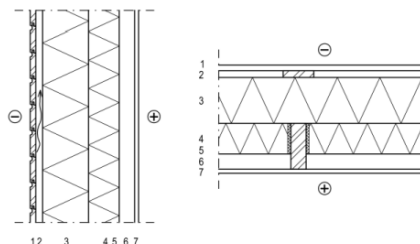
1. Ulkoverhous, pintamateriaali- ja käsittely rakennuslainsäädännön mukaan
2. Ilmaväli, pystykoolaus 22x100 mm, kiinnitys kantavaan runkoon
3. Lämmöneriste, SPU AL 70, saumat vaahdotetaan
4. Lämmöneriste, SPU AL 100 runkolevy, vaahdotus runkoon
5. Pystyrunko, runkotolpat k600
6. Asennustila
7. Sisäverhouslevy, pintamateriaali- ja käsittely huoneselostuksen mukaan


 U-arvo 0,13 W/m²K (SPU AL λ₀ 0,023 W/mK)

Ilmaääneneristävyyden R _w	≥ 32 dB
R _w + C	≥ 30 dB (lentomelua vastaan)
R _w + C _{tr}	≥ 28 dB (liikennemelua vastaan)

Passiivienergiataso**rakennetyyppi US 1.1.2**

1. Ulkoverhous, pintamateriaali- ja käsittely rakennuslainsäädännön mukaan
2. Ilmaväli, pystykoolaus 22x100 mm, kiinnitys kantavaan runkoon
3. Lämmöneriste, SPU AL 150, saumat vaahdotetaan
4. Lämmöneriste, SPU AL 100 runkolevy, vaahdotus runkoon
5. Pystyrunko, runkotolpat k600
6. Asennustila
7. Sisäverhouslevy, pintamateriaali- ja käsittely huoneselostuksen mukaan


 U-arvo 0,09 W/m²K (SPU AL λ₀ 0,023 W/mK)

Ilmaääneneristävyyden R _w	≥ 32 dB
R _w + C	≥ 30 dB (lentomelua vastaan)
R _w + C _{tr}	≥ 28 dB (liikennemelua vastaan)

Huomioitavaa

- Saumat vaahdotetaan [SPU Vaahdotusohjeen \[Nro 101\]](#) mukaan.
- Eristeet kiinnitetään [SPU Kiinnitysohjeen \[Nro 105\]](#) mukaan.
 - Rungon välissä oleva eriste polyuretaanilla.
 - Rungon ulkopuolella oleva eriste mekaanisilla kiinnikkeillä runkoon.
- Eristeen ollessa useassa kerroksessa, saumat tulee limittää.
- Minkään levyn laminaatteja ei tule poistaa.
- Rakennetyypissä käytetty ensisijaisesti varastopaksuuksia.
 - SPU AL varastopaksuudet: 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150, 160, ja 170 mm.



SPU AL -eristeinen ulkoseinärakenne
Puurunko

US 1.1.0, US 1.1.1 ja US 1.1.2

- Rakennuksen jäykistys voidaan toteuttaa sisä- ja/tai ulkopuolisella levyjäykistyksellä. Jäykistys voidaan asentaa myös eristelevyjen väliin. Eristeen jäykkyydestä huolimatta, sitä ei voida hyödyntää rakennuksen jäykistämässä.
- Ilmaääneneristävyyttä voidaan parantaa asennustilaan asennettavalla tarkoitukseen sopivalla mineraalivillalla sekä toisella kipsilevykerroksella. Soveltuvuus tarkasteltava kohdekohtaisesti. Ääneneristävyys kun rakenteeseen lisätään mineraalivillaa ja toinen kipsilevy:
 - R_w ~43 dB mineraalivillalla + lisäkipsilevy
 - $R_w + C$ ~42 dB mineraalivillalla + lisäkipsilevy
 - $R_w + C_{tr}$ ~38 dB mineraalivillalla + lisäkipsilevy

Lämmönläpäisykertoimet (US 1.1)

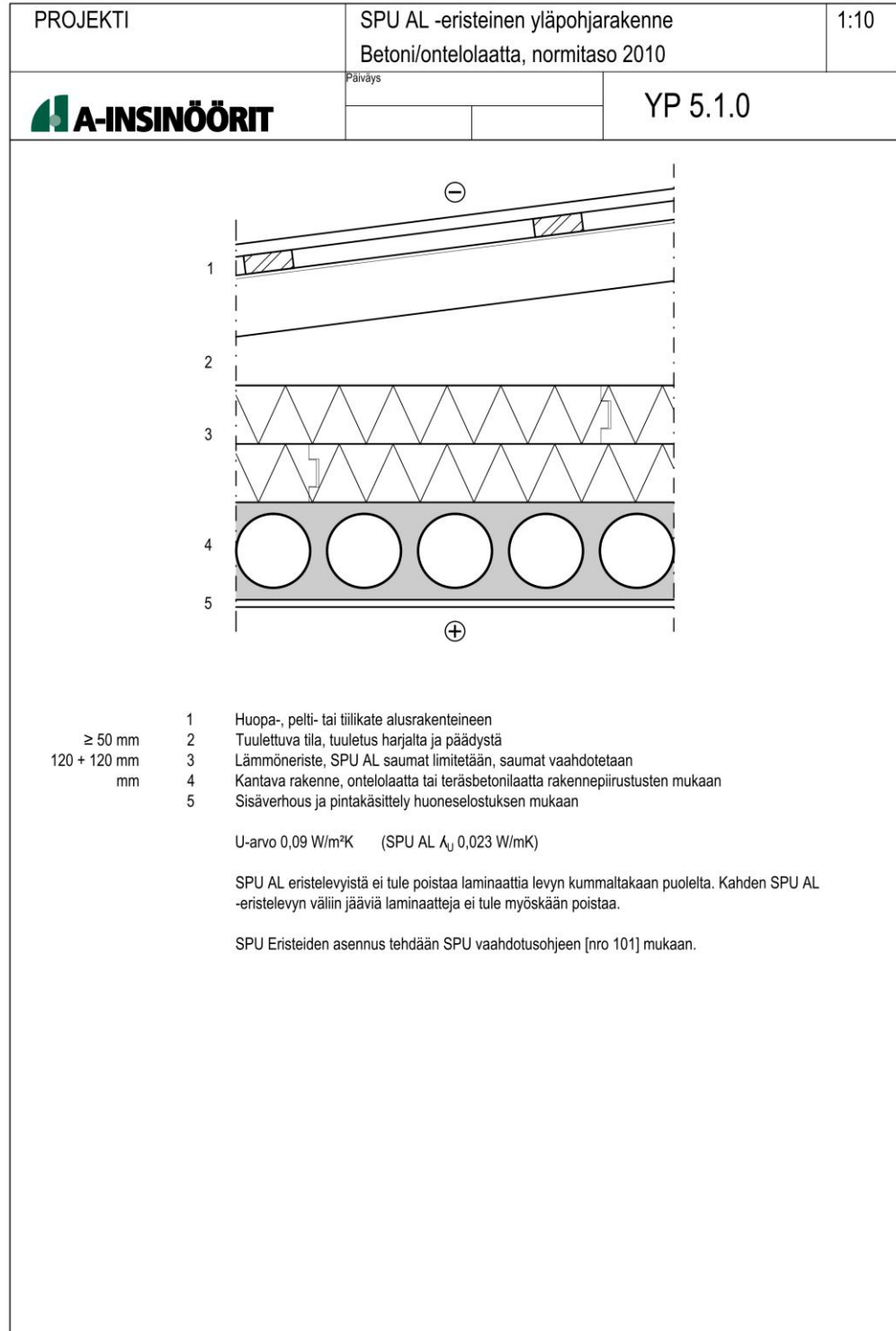
Detaljin tunnus	Eristepaksuudet	U-arvo
US 1.1.0	SPU AL 70 yhtenäisenä kerroksena + SPU AL 50 rungon välissä	0,17 W/m ² K
US 1.1.1	SPU AL 70 yhtenäisenä kerroksena + SPU AL 100 k600 rungon välissä	0,13 W/m ² K
US 1.1.2	SPU AL 150 yhtenäisenä kerroksena + SPU AL 100 k600 rungon välissä	0,09 W/m ² K

U-arvot on laskettu ISO 6946:2007 mukaan. U-arvossa on otettu huomioon lämmöneneristekerrosten lisäksi suljettu ilmaväli ja sisäverhoukset. Puurungon aiheuttama kylmäsilta on otettu huomioon eristekerroksessa (k600) ja suljetussa ilmavälissä (k600). Sisä- ja ulkopuolisenä pintavastuksena on käytetty 0,13 m²K/W.

Liittyvät tiedostot ja julkaisut

- Kaikki puu- ja hirsirakenteiset ulkoseinät [dwg-muodossa](#).
- Kaikki puu- ja hirsirakenteiset ulkoseinät [pdf-muodossa](#).
- [SPU:n materiaalikirjasto](#) Dof-Lämpö-ohjelmaan.
- US 1.1.0 [LAM-tiedosto](#).
- US 1.1.1 [LAM-tiedosto](#).
- US 1.1.2 [LAM-tiedosto](#).

SPU AL -eristeinen betonirunkoinen yläpohjarakenne





SPU AL -eristeinen yläpohjarakenne
Betonirunko

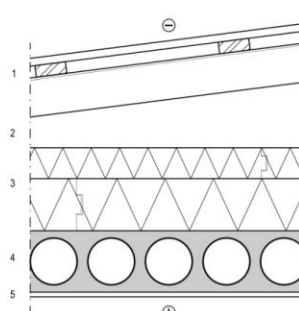
YP 5.1.0, YP 5.1.1 ja YP 5.1.2

Lisäeristämismuutokset

Matalaenergiataso

rakennetyyppi YP 5.1.1

1. Huopa-, pelti- tai tiilikate alusrakenteineen
2. Tuulettuva tila ≥ 50 mm, tuuletus harjalta ja päädystä
3. Lämmöneriste, SPU AL 100 + 170 saumat limitetään, saumat vaahdotetaan
4. Kantava rakenne, ontelolaatta tai teräsbetonilaatta rakennepiirustusten mukaan
5. Sisäverhous ja pintakäsittely huoneselostuksen mukaan



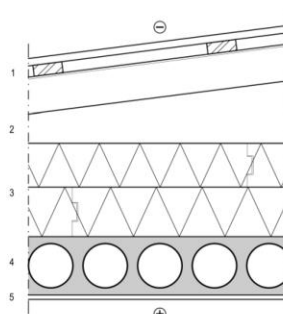
U-arvo

0,08 W/m²K (SPU AL $\lambda_{0,023}$ W/mK)

Passiivenergiataso

rakennetyyppi YP 5.1.2

1. Huopa-, pelti- tai tiilikate alusrakenteineen
2. Tuulettuva tila ≥ 50 mm, tuuletus harjalta ja päädystä
3. Lämmöneriste, SPU AL 150 + 170 saumat limitetään, saumat vaahdotetaan
4. Kantava rakenne, ontelolaatta tai teräsbetonilaatta rakennepiirustusten mukaan
5. Sisäverhous ja pintakäsittely huoneselostuksen mukaan



U-arvo

0,09 W/m²K (SPU AL $\lambda_{0,023}$ W/mK)

Huomioitavaa

- Saumat vaahdotetaan [SPU Vaahdotusohjeen \[Nro 101\]](#) mukaan.
- Eristeen ollessa useassa kerroksessa, saumat tulee liittää.
- Minkään levyn laminaatteja ei tule poistaa.

Lämmönläpäisykertoimet (YP 5.1)

Detaljin tunnus	Eristepaksuudet	U-arvo
YP 5.1.0	SPU AL 120 + 120 yhtenäisenä kerroksena (vaihtoehtoisesti SPU AL 150 + 90)	0,09 W/m ² K
YP 5.1.1	SPU AL 170 + 100 yhtenäisenä kerroksena (vaihtoehtoisesti SPU AL 150 + 120)	0,08 W/m ² K
YP 5.1.2	SPU AL 170 + 150 yhtenäisenä kerroksena (vaihtoehtoisesti SPU AL 200 + 120)	0,07 W/m ² K

U-arvot on laskettu ISO 6946:2007 mukaan. U-arvossa on otettu huomioon lämmöneristekerroksen lisäksi ontelolaatta/betoni (λ 1,7 W/mK). Sisä- ja ulkopuolisenä pintavastuksena on käytetty 0,10 m²K/W.